

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов

институт

Шахтное и подземное строительство

кафедра

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Конструирование тоннельных обделок сводчатого очертания

тема

Преподаватель

подпись, дата

Г. С. Курчин
инициалы, фамилия

Студент

ГГ21-10
номер группы, зачетной книжки



подпись, дата

А.С. Ткаченко
инициалы, фамилия

Красноярск 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Теоретические сведения	2
1.1	Общие положения	2
1.2	Типы шпуров, врубы	2
1.3	Взрывчатые вещества и средства взрывания	6
1.4	Расчет параметров буровзрывных работ	7
2	Ход работы	12
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	16

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Общие положения

Эффективность буровзрывных работ, т. е. качественное дробление породы, точное оконтуривание профиля выработки, снижение сейсмического влияния взрыва как фактора, обеспечивающего большую устойчивость выработки, кучная укладка породы у забоя после взрыва и повышение таких показателей, как коэффициент использования шпуров (к.и.ш.) и коэффициент излишка сечения (к.и.с.), зависит от правильного проектирования параметров буровзрывных работ (паспорта БВР): выбора типа ВВ и средств взрывания, определения расхода и величины заряда ВВ, выбора конструкции зарядов ВВ, установления числа, глубины и схемы расположения шпуров в забое. Паспорт БВР рекомендуется разрабатывать в зависимости от инженерно-геологических условий заложения выработки, физико-механических свойств породы, ее трещиноватости и устойчивости, степени обводненности горного массива.

1.2 Типы шпуров, врубы

Все шпуры в забое тоннеля по условиям их работы делятся на несколько групп: врубовые, отбойные, контурные, подошвенные. Заряды врубовых шпуров производят первоначальное разрушение породы обычно в центре сечения выработки, в наиболее трудных условиях. Заряды отбойных шпуров дробят основную массу породы, контурных — придают выработке ее проектную форму, а подошвенных — оформляют подошву выработки (Рисунок 1.1).

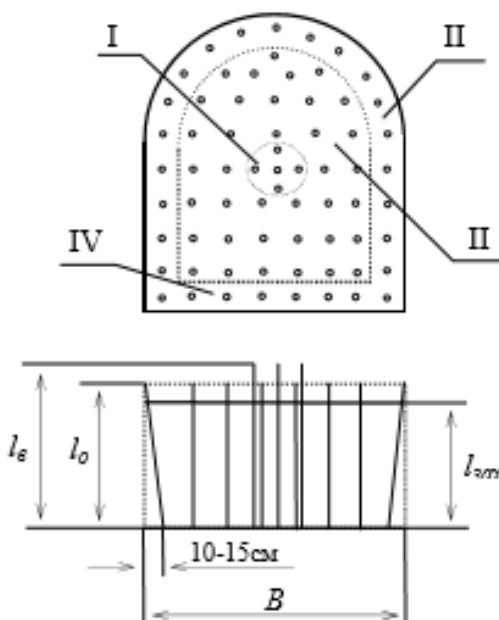


Рисунок 1.1 – Группы шпуров в забое: I — врубовые; II — отбойные; III — контурные; IV — подошвенные; B — ширина выработки; $l_{\text{в}}$ — глубина врубовых шпуров; $l_{\text{о}}$ — глубина отбойных шпуров; $l_{\text{зах}}$ — величина заходки

Особенность подземных взрывных работ при разработке пород сплошным забоем состоит в том, что взрываема порода зажата со всех сторон, кроме плоскости забоя. В

этих условиях для более эффективного использования энергии взрыва, уменьшения расхода ВВ и снижения сейсмического воздействия на окружающий массив породы необходимо образовать дополнительные свободные плоскости — так называемые плоскости обнажения. Образование таких плоскостей достигается путем первоочередного взрывания врубовых шпуров, которые обычно на 10 % длиннее всех остальных шпуров и имеют заряд повышенной мощности. Эти шпуры, расположенные по определенной схеме, при взрыве образуют в массиве полость — вруб, который и служит дополнительной поверхностью обнажения, обеспечивая более благоприятные условия работы остальных шпуров.

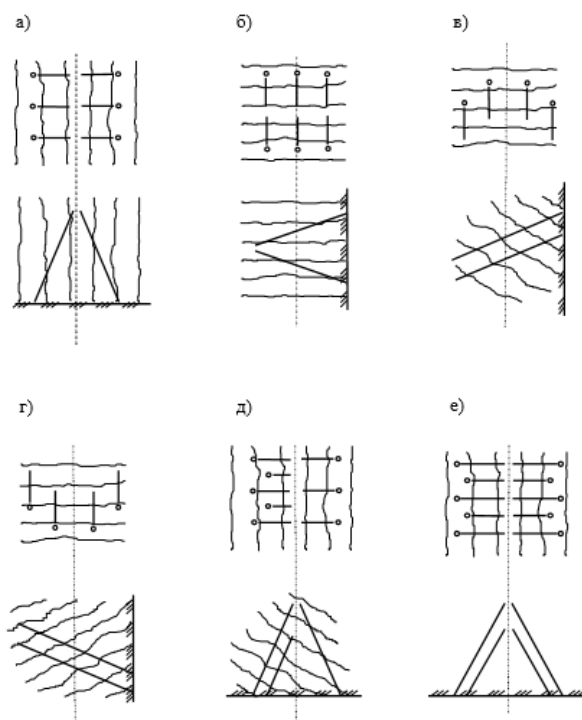


Рисунок 1.2 — Отрывающие (клиновые) врубы: а — вертикальный клиновой; б — горизонтальный клиновой; в — нижний односторонний; г — верхний односторонний; д — боковой; е — многоклиновый

Существует две группы схем расположения врубовых шпуров:

а) в зависимости от направления трещин и слоев в породах, пересекаемых выработкой;

б) независимо от направления трещин и слоев в породах.

Врубовые шпуры первой группы действуют по принципу отрыва породы от массива по трещинам напластования, их называют отрывающими, или клиновыми, врубами.

В зависимости от расположения трещин и характера залегания пересекаемых пород применяют следующие основные типы отрывающих врубов (Рисунком 1.2):

- в породах с вертикальным расположением трещин — вертикальный клиновой;
- в породах с горизонтальным расположением трещин — горизонтальный клиновой;
- в слоистых породах с падением трещин на забой — нижний односторонний;
- в слоистых породах с падением трещин от забоя — верхний односторонний;
- в трещиноватых породах и крутом их падении, когда выработка располагается по простиранию пород, — боковой вруб.

Клиновые врубы чаще всего принимают при использовании перфораторов. Они обеспечивают хороший выброс породы из врубовой полости, но дают большой разброс ее от забоя. Это зачастую приводит к нарушению устойчивости временной крепи и снижению производительности погрузки породы.

При большом сечении выработки и в крепких породах применяют усиленные много-клиновые врубы.

Расстояния между шпурами клинового вруба принимают по ориентировочным данным, приведенным в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры клинового вруба

Коэффициент крепости пород	Расстояние (м) между		Угол наклона шпуров к плоскости забоя, град	Число врубовых шпуров
	парами шпуров	шпурами в ряду		
2...6	0,50	2	70	4...6
6...8	0,45	2	68	4...6
8...10	0,40	2	65	6...8
10...15	0,35	2	63	6...8
15...20	0,35	1,8	60	6...8

Существенными недостатками отрывающих врубов являются:

- зависимость глубины шпуров от ширины выработки вследствие их наклонного положения;
- сложность размещения шпуров и придания им заданного угла наклона;
- трудность забуривания и реальная возможность отклонения шпуров от заданного направления, особенно с увеличением их глубины.

Врубовые шпуры второй группы располагают обычно перпендикулярно забою независимо от расположения трещин и параллельно друг к другу. Благодаря относительно сближенному расположению шпуров (10...30 см) при взрыве происходит не только отрыв породы от массива, но и главным образом разрушение ее между врубовыми шпурами.

Врубы с таким расположением шпуров называются дробящими, или, иначе, прямыми. Эти врубы обычно применяются при бурении шпуров тяжелыми бурильными установками. Известны призматические, щелевые, спиральные врубы и их комбинации (Рисунком 1.3). Схемы прямых врубов предусматривают одновременное или последовательное взрывание зарядов в шпурах, обычно комбинируемых с незаряженными шпурами или с центральной скважиной диаметром 100...150 мм, которые создают дополнительные поверхности обнажения и способствуют повышению эффективности взрыва. Прямые врубы обеспечивают возможность получения заходки любой требуемой глубины и достаточную кучность взорванной породы. Отброс породы от забоя не превышает 15...20 м в тоннелях и 8...10 м в штольях. Достоинства этих врубов также заключаются в простоте обуривания забоя, умеренном сейсмическом и ударном воздействии на массив, возможности максимальной концентрации бурового оборудования у забоя и полной механизации процесса бурения

шпуров. При использовании буровых рам и самоходных бурильных установок рекомендуется преимущественное применение прямых врубов.

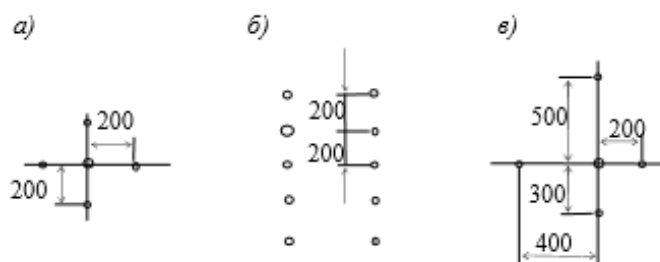


Рисунок 1.3 – Дробящие (прямые) врубы: а — призматический; б — щелевой; в — спиральный

В результате взрыва заряда стенки шпура разрушаются не на всю длину. Отношение разрушившейся части шпура l к его полной длине $l_{\text{ш}}$ называют коэффициентом использования шпуров (к.и.ш.):

$$\eta = \frac{l}{l_{\text{ш}}} \quad (1.1)$$

Коэффициент η в горизонтальных выработках обычно составляет 0,8...0,9. Назначение глубины шпуров производят с учетом площади поперечного сечения выработки, свойств породы, принятой механизации буровзрывных и погрузочных работ, способов заряжания и взрывания зарядов ВВ.

Особое внимание следует обращать на обеспечение устойчивости выработки после взрыва. Зачастую приходится ограничивать глубину заходки именно по этому условию, хотя с точки зрения производительности работ по проходке целесообразнее принимать большую глубину заходки. Ориентировочные значения допускаемой глубины заходки по условию устойчивости выработки приведены в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Допускаемая глубина заходки по условию устойчивости выработки

Коэффициент крепости породы	Глубина заходки $l_{\text{зах}}$, м	
	в тоннеле ($S < 20 \text{ м}^2$)	в штольне ($S < 20 \text{ м}^2$)
2...4	1,5...2,5	1,5...2,0
5...6	3,0	2,5
7...8	3,5	3,0
Более 8	4,0	3,5

При заданной глубине заходки длина отбойных и контурных шпуров определяется коэффициентом использования шпуров и углом наклона их к плоскости забоя. Концы этих шпуров должны лежать в одной плоскости, перпендикулярной продольной оси выработки. Длина врубовых шпуров должна превышать на 10 % длину остальных шпуров.

Устья контурных и подошвенных шпуров располагают в 10...20 см от проектного очертания выработки, а концы их должны находиться на проектном контуре. Отбойные шпуры располагают между врубовыми и контурными шпурами таким образом, чтобы на

каждый шпур приходился примерно одинаковый объем взрывающей породы при условии достаточного ее дробления.

1.3 Взрывчатые вещества и средства взрывания

Тип ВВ и СВ назначают в зависимости от инженерно-геологических условий заложения тоннеля, сечения выработки, физико-механических свойств горных пород. Применяют ВВ как в патронах, так и россыпью (гранулированные). В последнем случае для заряжания ВВ используют механизированные пневмозарядчики. Ориентировочный выбор ВВ производят, пользуясь данными Таблицы 1.3. Размеры и масса патронов наиболее распространенных ВВ приведены в Таблице 1.4.

Таблица 1.3 – Ориентировочный выбор ВВ

Категория пород по крепости	Коэффициент крепости пород	Наименование ВВ	Тип установки ВВ
Весьма крепкие и крепкие	10...20	Аммонит №1 скальный Аммонал №3 скальный Детонит М Граммонал А-8	Патроны То же » Россыпью
Крепкие	7...10	Аммонал Гранулит АС-8В	Патроны Россыпью
Крепкие и средней крепости	4...7	Аммонит №6ЖВ Граммонит 79/21-Б Гранулит АС-4В	Патроны Россыпью »
Средней крепости	2...4	Динафталит Гранулит М	Патроны Россыпью
Средней крепости и слабые	1...2	Аммонит ПЖВ-20 Аммонит Т-19	Патроны »

Взрывание зарядов при проходке тоннелей, как правило, производят электрическим способом с помощью электродетонаторов. Дополнительно используют, особенно при взрывании контурных рассредоточенных зарядов, детонирующий шнур.

Таблица 1.4 – Размеры и масса патронов ВВ

Наименование ВВ	Диаметр патрона, см	Длина патрона, см	Масса патрона, г
Аммонит №1 скальный	3,6	17,5	250
Аммонал №3 скальный	3,6	25	250
Аммонал	3,2	25	250
Детонит М	3,2	25	250
Аммонит №6ЖВ	3,2	25	200
Динафталит	3,2	25	200
Аммонит ПЖВ-20	3,6	17,5	200

Применяют следующие типы электродетонаторов (выпускаемые промышленностью):

- мгновенного действия — ЭД-8-Э, ЭД-8-ПМ, ЭДС;
- короткозамедленного действия — ЭДКЗ (со ступенями замедления 25; 50; 75; 100; 150; 250 мс), ЭДКЗ-ПМ-15 (со ступенями замедления 15; 30; 45; 75; 105; 120 мс);
- замедленного действия — ЭДЗД (со ступенями замедления 0,5; 0,75; 1,2; 4; 6; 8; 10 с).

1.4 Расчет параметров буровзрывных работ

Разработка на полное сечение.

1. Определяют средний удельный расход ВВ, кг/м³:

$$q_c = \left(0,3\sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right) \cdot e \cdot \psi \cdot \omega \quad (1.2)$$

где f — коэффициент крепости породы;

S — площадь поперечного сечения выработки, м²;

e — коэффициент работоспособности ВВ (Таблице 1.5);

ψ — коэффициент влияния плотности заряжания (Таблице 1.6);

ω — коэффициент структуры и трещиноватости горных пород (Таблице 1.7).

Таблица 1.5 – Коэффициент работоспособности ВВ

Наименование ВВ	e	Наименование ВВ	e
Аммонит №1 скальный	0,81	Гранулит АС-4В	0,98
Аммонал №3 скальный	0,80	Аммонит №6ЖВ	1,00
Детонит М	0,82	Граммонит 79/21-В	1,00
Граммонал А-8	0,80	Динафталит	1,08
Гранулит АС-8В	0,89	Гранулит М	1,13
Аммонал	0,91	Аммонит ПЖВ-20	1,20

Таблица 1.6 – Коэффициент влияния плотности заряжания

Способ заряжания	ψ
Заряжание обычными патронами	1,10
Заряжание с раздавливанием пластичных патронов ВВ	1,15
Заряжание россыпными ВВ	1,00

Таблица 1.7 – Коэффициент структуры и трещиноватости горных пород

Горно-геологическая характеристика	ω	f
Монолитные плотные	1,9...2,0	18...20
Монолитные, с жильными включениями, ослабляющими массив в зонах контакта	1,8...1,9	14...18
Нетрещиноватые, с перпендикулярными к продольной оси тоннеля напластованиями	1,6...1,8	10...14
Без видимых трещин, с параллельными или наклонными до 70° напластованиями к продольной оси тоннеля	1,4...1,6	8...10
Слаботрещиноватые (до 2 трещин на 1 м ² забоя)	1,0...1,4	6...8
Трещиноватые (от 2 до 5 трещин на 1 м ² забоя)	0,8...1,0	4...6
Сильнотрещиноватые (свыше 5 трещин на 1 м ² забоя)	0,6...0,8	2...4

2. Вычисляют линию наименьшего сопротивления (л.н.с.) отбойных шпуров, м:

$$w_0 \approx 52 \cdot k_3 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{ВВ}}}{\rho \cdot e \cdot \omega}} \quad (1.3)$$

где k_3 — коэффициент зажима (Таблице 1.8);

d — диаметр заряда ВВ, м;

$\rho_{\text{ВВ}}$ — плотность ВВ в патронах (при заряжании), кг/м³ (Таблице 1.9);

ρ — расчетная плотность породы, кг/м³ (Таблице 1.10).

Таблица 1.8 – Коэффициент зажима

Площадь сечения выработки, м ²	Менее 20	20...50	Более 50
k_3	0,7	0,8	0,9

Таблица 1.9 – Плотность ВВ в патронах при зарядании

Наименование ВВ	$\rho_{\text{ВВ}} \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$	Наименование ВВ	$\rho_{\text{ВВ}} \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$
Аммонит №1 скальный	1,45...1,58	Аммонит ПЖВ-20	1,05...1,20
Аммонал №3 скальный	0,90...1,10	Аммонит Т-19	1,05...1,20
Аммонал	0,95...1,15	Граммонал А-8	1,00...1,25
Детонит М	0,95...1,20	Гранулит АС-8В	1,00...1,20
Аммонит №6ЖВ	1,00...1,20	Гранулит АС-4В	1,00...1,20
Динафталит	1,00...1,15	Граммонит 79/21-Б	1,00...1,25

Таблица 1.10 – Расчетная плотность породы

Коэффициент крепости породы	2...3	4...6	7...9	10...14	15 и более
$\rho, \text{ кг/м}^3$	2100	2500	2750	2900	3000

3. Назначают расстояние между шпурами: для врубовых — по схеме принятого вруба, для отбойных и подошвенных — по Таблице 1.11, для контурных — по Таблице 1.12.

Таблица 1.11 – Расстояния между отбойными и подошвенными шпурами

Наименование шпуров	Расстояние в долях л.н.с. w_0	
	между рядами шпуров	между шпурами в ряду
Отбойные	0,80...0,95	0,90...0,95
Подошвенные	0,70...0,85	0,70...0,90

Таблица 1.12 – Расстояния между контурными шпурами

Коэффициент крепости породы	Расстояние (м) в породах		
	монолитных	слаботрециноватых	сильнотрециноватых
2...3	0,6	0,7	0,6
4...6	0,5	0,6	0,7
7...9	0,4	0,5	0,6
10...12	0,3	0,4	0,5

В практике обычно принимают расстояния между шпурами и рядами шпуров одинаковыми.

При использовании контурных шпуров с профильными надрезами-концентраторами напряжений расстояние между этими шпурами принимают равным расстоянию между отбойными шпурами.

4. Определяют необходимое количество шпуров:

$$N = N_k + N_n + N_o + N_{\text{вр}} \quad (1.4)$$

где N_k — количество контурных шпуров;

N_{Π} — количество подошвенных шпуров;

N_o — количество отбойных шпуров;

$N_{вр}$ — количество врубовых шпуров.

Количество контурных шпуров находят по формуле

$$N_k = \frac{p_k}{a_k} + 1 \quad (1.5)$$

где p_k — периметр выработки по линии расположения контурных шпуров, м;

a_k — расстояние между контурными шпурами, м.

Линия наименьшего сопротивления контурных шпуров, м:

$$w_k = \frac{a_k}{m} \quad (1.6)$$

где m — коэффициент сближения контурных зарядов (Таблице 1.13).

Таблица 1.13 – Коэффициент сближения контурных зарядов

Коэффициент крепости породы	2...3	4...6	7...9	10...14	15...20
m	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Площадь сечения забоя, взрываемую контурными зарядами, m^2 , определяют по формуле

$$S_k = (N_k - 1) \cdot a_k \cdot w_k \quad (1.7)$$

Количество подошвенных шпуров

$$N_{\Pi} = \frac{B}{a_{\Pi}} + 1 \quad (1.8)$$

где B — ширина выработки по подошве, м;

a_{Π} — расстояние между подошвенными шпурами, м.

Площадь сечения забоя, взрываемаемая подошвенными шпурами, m^2 :

$$S_{\Pi} = w_0 \cdot B \quad (1.9)$$

Количество врубовых шпуров $N_{вр}$ и площадь сечения забоя, взрываемаемая врубовыми зарядами, $S_{вр}$ определяют по схеме вруба.

Количество отбойных шпуров находят по формуле

$$N_o = \frac{1,27 \cdot q_c \cdot S_o}{d^2 \cdot k_{зап} \cdot \rho_{вв} \cdot k_y} \quad (1.10)$$

где $S_o = S - (S_k + S_{\Pi} + S_{вр})$ — площадь сечения забоя, взрываемаемая отбойными зарядами, m^2 ;

$k_{зап}$ — коэффициент заполнения шпура при заряджании (Таблице 1.14);

k_y — коэффициент уплотнения зарядов ВВ в процессе заряджания, для россыпных и пластинчатых ВВ $k_y = 1,05 \dots 1,15$, для патронированных $k_y = 1$.

Таблица 1.14 – Коэффициент заполнения шпура при зарядании

Коэффициент крепости породы f	2...3	4...6	7...9	10...14	15...20
$k_{\text{зап}}$	0,50... 0,55	0,60... 0,65	0,65... 0,70	0,70... 0,75	0,75... 0,80

5. После определения количества шпуров составляют схему расположения шпуров на чертеже поперечного сечения выработки, на которой уточняют количество отбойных шпуров и общее количество шпуров (Рисунке 1.4).

6. Определяют расход ВВ на цикл (заходку). Вначале получают ориентировочный расход ВВ, кг, по формуле

$$Q = q_c \cdot S \cdot l_{\text{зах}} \quad (1.11)$$

Находят массу контурного заряда, кг:

$$q_k = l_k \cdot k_k \quad (1.12)$$

где l_k — глубина контурного шпура, м;

k_k — коэффициент концентрации контурных зарядов, кг/м (Таблице 1.15).

Таблица 1.15 – Коэффициент концентрации контурных зарядов

Коэффициент крепости породы	2...3	4...6	7...9	10...14	15...20
k_k	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45

При расчете массы патронированного заряда необходимо иметь в виду, что в шпуре должно размещаться целое число патронов ВВ. Поэтому расчетную массу заряда корректируют с учетом этого условия.

Общая масса контурных зарядов, кг:

$$Q_k = q_k \cdot N_k \quad (1.13)$$

Средняя масса врубового заряда, кг:

$$q_{\text{вр}} = \frac{1,2 \cdot (Q - Q_k)}{N - N_k} \quad (1.14)$$

Общая масса врубовых зарядов, кг:

$$Q_{\text{вр}} = q_{\text{вр}} \cdot N_{\text{вр}} \quad (1.15)$$

Масса отбойного и подошвенного зарядов, кг:

$$q_{\text{оп}} = \frac{Q - (Q_k + Q_{\text{вр}})}{N - (N_k + N_{\text{вр}})} \quad (1.16)$$

Общая масса отбойных и подошвенных зарядов, кг:

$$Q_{\text{оп}} = q_{\text{оп}} \cdot (N_o + N_{\text{п}}) \quad (1.17)$$

Общий расход ВВ на цикл, кг:

$$Q_{\text{ВВ}} = Q_k + Q_{\text{оп}} + Q_{\text{вр}} \quad (1.18)$$

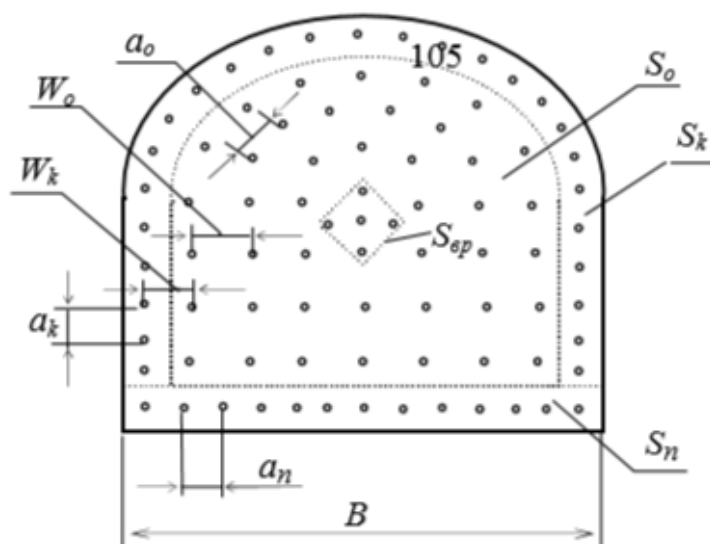


Рисунок 1.4 – Схема к расчету параметров БВР при разработке тоннеля на полное сечение: w_o и w_k — л.н.с. отбойных и контурных шпуров; a_o , a_k , a_n — расстояния соответственно между отбойными, контурными и подошвенными шпурами; $S_{вр}$, S_o , S_k , S_n — площади сечения забоя, взрывааемые соответственно врубовыми, отбойными, контурными и подошвенными шпурами

2 ХОД РАБОТЫ

Исходные данные для расчета параметров БВР приняты по варианту 6 и приведены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные (вариант 6)

f	$S, \text{ м}^2$	$B, \text{ м}$	$P, \text{ м}$	$l_k, \text{ м}$	$l_{зах}, \text{ м}$
8	14,17	4,53	12,55	3,5	3,0

Для породы с коэффициентом крепости $f = 8$ (крепкие породы) по Таблице 1.3 принято ВВ аммонал в патронах; по Таблице 1.4 патрон диаметром 3,2 см, длиной 25 см и массой 250 г. По Таблице 1.5 коэффициент работоспособности аммонала $e = 0,91$; при зарядании обычными патронами $\psi = 1,10$ (Таблице 1.6); плотность ВВ в патронах принята средней для диапазона 0,95...1,15: $\rho_{вв} = 1050 \text{ кг/м}^3$ (Таблице 1.9); расчетная плотность породы при $f = 8$ составляет $\rho = 2750 \text{ кг/м}^3$ (Таблице 1.10). Порода принята слаботрещиноватой, поэтому $\omega = 1,2$ — среднее значение диапазона (Таблице 1.7). Взрывание зарядов электрическое, средствами инициирования приняты электродетонаторы.

1. Средний удельный расход ВВ по формуле (1.2):

$$q_c = \left(0,3\sqrt{8} + \frac{2}{\sqrt{14,17}} \right) \cdot 0,91 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 1,66 \text{ кг/м}^3 \quad (2.1)$$

2. Линия наименьшего сопротивления отбойных шпуров по формуле (1.3) при $k_3 = 0,7$ (сечение $S = 14,17 \text{ м}^2 < 20 \text{ м}^2$, Таблице 1.8):

$$w_o = 52 \cdot 0,7 \cdot 0,032 \cdot \sqrt{\frac{1050}{2750 \cdot 0,91 \cdot 1,2}} = 0,69 \text{ м} \quad (2.2)$$

3. Расстояния между шпурами: для отбойных шпуров по Таблице 1.11 — $0,9w_0 = 0,62$ м, принято $a_o = 0,6$ м (одинаковым между шпурами и рядами шпуров); для подошвенных — $0,8w_0 = 0,55$ м; для контурных при $f = 8$ в слаботрещиноватых породах по Таблице 1.12 — $a_k = 0,5$ м.

4. Необходимое количество шпуров. Количество контурных шпуров по формуле (1.5) при $p_k = P = 12,55$ м:

$$N_k = \frac{12,55}{0,5} + 1 = 26,1 \approx 26 \quad (2.3)$$

Линия наименьшего сопротивления контурных шпуров по формуле (1.6) при $m = 0,8$ ($f = 8$, Таблице 1.13):

$$w_k = \frac{0,5}{0,8} = 0,63 \text{ м} \quad (2.4)$$

Площадь сечения забоя, взрываема контурными зарядами, по формуле (1.7):

$$S_k = (26 - 1) \cdot 0,5 \cdot 0,63 = 7,88 \text{ м}^2 \quad (2.5)$$

Количество подошвенных шпуров по формуле (1.8):

$$N_n = \frac{4,53}{0,55} + 1 = 9,2 \approx 9 \quad (2.6)$$

Площадь сечения забоя, взрываема подошвенными шпурами, по формуле (1.9):

$$S_n = 0,69 \cdot 4,53 = 3,13 \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

Вруб принят вертикальный клиновой: по Таблице 1.1 для крепости $f = 8$ — восемь шпуров (четыре пары) с расстоянием между парами $0,4$ м и углом наклона 65° к плоскости забоя; площадь сечения забоя, взрываема врубовыми зарядами, по схеме вруба $S_{вр} = 1,5 \text{ м}^2$.

Площадь сечения забоя, взрываема отбойными зарядами:

$$S_o = 14,17 - (7,88 + 3,13 + 1,5) = 1,66 \text{ м}^2 \quad (2.8)$$

Количество отбойных шпуров по формуле (1.10) при $k_{зап} = 0,70$ ($f = 8$, Таблице 1.14) и $k_y = 1$ (патронированное ВВ):

$$N_o = \frac{1,27 \cdot 1,66 \cdot 1,66}{0,032^2 \cdot 0,70 \cdot 1050 \cdot 1} = 4,65 \approx 5 \quad (2.9)$$

Общее количество шпуров по формуле (1.4):

$$N = 26 + 9 + 5 + 8 = 48 \quad (2.10)$$

5. Глубина шпуров и заходка. Глубина отбойных и контурных шпуров принята по заданию $l_k = 3,5$ м; при этом коэффициент использования шпуров

$$\eta = \frac{l_{зах}}{l_k} = \frac{3}{3,5} = 0,86 \quad (2.11)$$

находится в рекомендуемых пределах $0,8 \dots 0,9$. Глубина врубовых шпуров принята на 10 % больше: $l_{вр} = 1,1 \cdot 3,5 = 3,85$ м. Допускаемая глубина заходки по условию устойчивости выработки при $f = 8$ составляет $4,0$ м (Таблице 1.2), что больше принятой $l_{зах} = 3$ м.

6. Расход ВВ на цикл (заходку). Ориентировочный расход ВВ по формуле (1.11):

$$Q = 1,66 \cdot 14,17 \cdot 3 = 70,57 \text{ кг} \quad (2.12)$$

Масса контурного заряда по формуле (1.12) при $k_k = 0,35$ ($f = 8$, Таблице 1.15):

$$q_k = 3,5 \cdot 0,35 = 1,225 \text{ кг} \quad (2.13)$$

Расчетная масса корректируется до целого числа патронов массой 250 г: принято 5 патронов, $q_k = 1,25$ кг (длина заряда $5 \cdot 25 = 125$ см при глубине шпура 3,5 м). Общая масса контурных зарядов по формуле (1.13):

$$Q_k = 1,25 \cdot 26 = 32,5 \text{ кг} \quad (2.14)$$

Средняя масса врубового заряда по формуле (1.14):

$$q_{вр} = \frac{1,2 \cdot (70,57 - 32,5)}{48 - 26} = 2,08 \text{ кг} \quad (2.15)$$

Принято 8 патронов: $q_{вр} = 2,0$ кг. Общая масса врубовых зарядов по формуле (1.15):

$$Q_{вр} = 2,0 \cdot 8 = 16,0 \text{ кг} \quad (2.16)$$

Масса отбойного и подошвенного зарядов по формуле (1.16):

$$q_{оп} = \frac{70,57 - (32,5 + 16,0)}{48 - (26 + 8)} = 1,58 \text{ кг} \quad (2.17)$$

Принято 6 патронов: $q_{оп} = 1,5$ кг. Общая масса отбойных и подошвенных зарядов по формуле (1.17):

$$Q_{оп} = 1,5 \cdot (5 + 9) = 21,0 \text{ кг} \quad (2.18)$$

Общий расход ВВ на цикл по формуле (1.18):

$$Q_{вв} = 32,5 + 21,0 + 16,0 = 69,5 \text{ кг} \quad (2.19)$$

Полученный расход не превышает ориентировочного: $Q_{вв} = 69,5 \text{ кг} < Q = 70,57 \text{ кг}$.

Основные параметры запроектированного паспорта БВР сведены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные параметры паспорта БВР (вариант 6)

Параметр	Обозначение	Значение
Тип ВВ	—	Аммонал, патроны 3,2×25 см, 250 г
Коэффициент работоспособности ВВ	e	0,91
Средний удельный расход ВВ	q_c	1,66 кг/м ³
Л.н.с. отбойных шпуров	w_0	0,69 м
Л.н.с. контурных шпуров	w_k	0,63 м
Расстояние между отбойными шпурами	a_o	0,6 м
Расстояние между подошвенными шпурами	a_{π}	0,55 м
Расстояние между контурными шпурами	a_k	0,5 м
Количество контурных шпуров	N_k	26
Количество отбойных шпуров	N_o	5
Количество подошвенных шпуров	N_{π}	9
Количество врубовых шпуров	$N_{вр}$	8
Общее количество шпуров	N	48
Глубина отбойных и контурных шпуров	l_k	3,5 м
Глубина врубовых шпуров	$l_{вр}$	3,85 м
Глубина заходки	$l_{зах}$	3,0 м
Коэффициент использования шпуров	η	0,86
Масса контурного заряда	q_k	1,25 кг (5 патронов)
Масса врубового заряда	$q_{вр}$	2,0 кг (8 патронов)
Масса отбойного и подошвенного зарядов	$q_{оп}$	1,5 кг (6 патронов)
Расход ВВ на цикл	$Q_{ВВ}$	69,5 кг (278 патронов)

Вывод: таким образом, для выработки площадью сечения 14,17 м² в крепких слаботрещиноватых породах с коэффициентом крепости $f = 8$ запроектирован паспорт буровзрывных работ на полное сечение: в качестве ВВ принят аммонал в патронах диаметром 32 мм; в забое располагается 48 шпуров, в том числе 8 врубовых (вертикальный клиновой вруб), 5 отбойных, 9 подошвенных и 26 контурных; глубина шпуров 3,5 м (врубовых 3,85 м) обеспечивает заходку 3,0 м при коэффициенте использования шпуров 0,86. Общий расход ВВ на цикл составляет 69,5 кг, что соответствует принятому удельному расходу 1,66 кг/м³.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2.301-68 (СТ СЭВ 1181-78) и др. ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей : сборник. — Введ. 01.01.82. — Содерж.: ГОСТ 2.301-68 (СТ СЭВ 1181-78) – ГОСТ 2.317-69 (СТ СЭВ 1979-79).
2. ГОСТ Р 21.1001-2009. Система проектной документации для строительства. Общие положения. Москва, 2009.
3. ГОСТ Р 21.1101-2009. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. Москва, 2009.
4. ГОСТ 24451-80. Тоннели автодорожные. Габариты приближения строений и оборудования. — Введ. 01.01.82.
5. ГОСТ 9238-2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. — Принят 14.11.13.
6. СП 122.13330.2012. Тоннели железнодорожные и автодорожные. Нормы проектирования. Москва, 2013.
7. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Москва, 2012.
8. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Москва, 2012.
9. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Нормы проектирования. Москва, 2011.
10. Айвазов Ю. Н. Расчет обделок, обжатых в породе. Киев: КАДИ, 1978. 108 с.
11. Айвазов Ю. Н. Ускоренные методы расчета тоннельных обделок. Киев: КАДИ, 1986.
12. Архангельский М. М., Джинчарадзе Д. И., Курисько А. С. Расчет тоннельных обделок. Москва: Трансжелдориздат, 1960. 344 с.
13. Бабков В. Ф., Андреев О. В. Проектирование автомобильных дорог : в 2-х т. Т. 1 — 367 с. ; Т. 2 — 407 с. Москва: Транспорт, 1979.
14. Волков В. П. Тоннели. Москва: Транспорт, 1970. 408 с.
15. Волков В. П. и др. Тоннели и метрополитены. Москва: Транспорт, 1975. 552 с.
16. Зурабов Г. Г., Бугаева О. Е. Гидротехнические тоннели ГЭС. Москва: Госэнергоиздат, 1962. 720 с.
17. Компаниец С. А., Поправко А. К., Богородецкий А. А. Проектирование тоннелей. Москва: Транспорт, 1973. 320 с.
18. Маковский Л. В. Городские подземные транспортные сооружения. Москва: Стройиздат, 1985. 439 с.
19. Маковский Л. В. Методические указания по проектированию и расчету вентиляции автодорожных тоннелей. Москва: МАДИ, 1981. 40 с.
20. Пастушков Г. П. и др. Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом. Минск: БНТУ, 2005. 96 с.
21. Справочник строителя транспортных тоннелей / под ред. Часовитин П. А. Москва: Транспорт, 1965. 768 с.