

Министерство образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова
(технический университет)

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВЗРЫВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОЛОГИИ,
ГОРНОМ ДЕЛЕ, НЕФТЕ-
И ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ
ОТРАСЛЯХ

Учебное пособие

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2004

УДК 624.132.35:625 (075.80)
ББК 33.133
С727

Авторы:

***Г.П.Парамонов, В.А.Артемов,
В.Н.Ковалевский, Ю.И.Виноградов***

Учебное пособие содержит описание специальных взрывных технологий в геологии, горном деле, в нефте- и газодобывающей отраслях, их классификации по назначению и условиям применения в различных средах: скальных грунтах, мерзлых грунтах, в грунтах под слоем воды. Рассматриваются буровзрывные методы проведения разведочных траншей при вскрытии и разведке месторождений полезных ископаемых; траншей под укладку нефтегазопроводов; технологические особенности различных методов взрывания в зависимости от горно-геологических и гидрогеологических условий. Особое внимание уделяется вопросам обеспечения безопасности охраняемых объектов при воздействии сейсмозврывных, гидроударных и ударных воздушных волн. Предлагаются методические рекомендации по расчету безопасных расстояний при производстве взрывных работ вблизи действующих газопроводов и по использованию укрытий – локализаторов от разлета осколков.

Предназначено для студентов специальностей 091000 «Взрывное дело» и 090200 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых».

Научный редактор *проф. Ю.В.Шувалов*

Рецензенты: проф. В.А.Белин (Национальная организация инженеров-взрывников), канд. тех. наук Л.Д.Дьяконов (Госгортехнадзор России)

С727 **Специальные взрывные технологии в геологии, горном деле, нефте- и газодобывающей отраслях: Учеб. пособие / Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет) / Г.П.Парамонов, В.А.Артемов, В.Н.Ковалевский, Ю.И.Виноградов. СПб, 2004. 74 с.**
ISBN 5-94211-232-0

**УДК 624.132.35:625 (075.80)
ББК 33.133**

ISBN 5-94211-232-0

© Санкт-Петербургский горный институт им. Г.В.Плеханова, 2004 г.

Введение

Проходка траншей различного назначения осуществляется, как правило, буровзрывным способом. Трассы траншей, залегающие в весьма сложных гидрогеологических условиях, проходят по пересеченной местности, представленной грунтами с различными горно-геологическими характеристиками. Кроме того, трасса проведения траншеи зачастую пересекает природные препятствия в виде болот, рек и пр., что является определяющим фактором при выборе технических решений по способам проведения траншей.

Особое место в технологическом процессе строительства магистральных газопроводов занимают взрывные работы. Применение взрывных работ позволяет обеспечить высокие темпы строительства при одновременном обеспечении высокой степени безопасности такого значимого и ответственного объекта как магистральный газопровод.

Наиболее технически сложными этапами технологического процесса при проведении различных траншей с использованием взрывных работ являются:

- сооружение траншей в скальных грунтах;
- сооружение подводных траншей;
- рыхление мерзлых грунтов.

Необходимо помнить, что производство взрывных работ связано с обязательным учетом таких негативных факторов воздействия взрыва на окружающую среду, как сейсмозрывные и

ударно-воздушные волны, а также разлет осколков. Тем более, что взрывные работы при строительстве траншей под магистральные газопроводы проводятся зачастую в стесненных условиях, т.е. вблизи жилых и промышленных зданий и сооружений, линий электропередач, транспортных сетей и коммуникаций, а также действующих газопроводов. Это обязывает принимать меры по предотвращению повреждений охраняемых объектов. Поэтому только правильный выбор метода производства взрывных работ с учетом свойств и характера строения взрываемого массива, а также соблюдение и выполнение технологических решений, обеспечивающих безопасность взрывных работ, может гарантировать их высокое качество и эффективность.

1. МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТРАНШЕЙ В СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ

В практике проведения траншей применяют различные методы: котловых и удлиненных зарядов при взрывании на выброс, сосредоточенных, шпуровых и скважинных зарядов при взрывании на рыхление в пределах заданного контура выработки.

1.1. ВЗРЫВАНИЕ НА РЫХЛЕНИЕ СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ЗАРЯДАМИ

Масса заряда, предназначенная для рыхления пород при одной обнаженной поверхности,

$$Q = qW^3, \quad (1)$$

где q – расчетный удельный расход взрывчатого вещества (ВВ), кг/м³; W – линия наименьшего сопротивления (ЛНС), м.

Если $W < 1$ м, масса заряда, согласно практическим данным,

$$Q = qW\sqrt{W}. \quad (2)$$

За ЛНС принимается кратчайшее расстояние от центра заряда до обнаженной поверхности.

Заряды могут располагаться в один или несколько рядов. Расстояние между зарядами в ряду

$$a = mW, \quad (3)$$

где m – относительное расстояние между зарядами в ряду. В зависимости от взрываемости, характера напластования, требуемой степени дробления породы, последовательности взрывания зарядов и т.п., $m = 1,0 \div 1,4$. Нижний предел принимается для трудновзрываемых пород.

Если ЛНС соседних рядов не равны между собой, то для расчета величины a принимается их среднее значение.

При многорядном расположении зарядов в шахматном порядке и мгновенном взрывании расстояние между рядами зарядов

$$b = 0,85a. \quad (4)$$

При разновременном (короткозамедленном или замедленном) взрывании рядов в зависимости от горно-технических условий расстояние между рядами

$$b = 0,9 \div 1,0a. \quad (5)$$

1.2. ВЗРЫВАНИЕ НА РЫХЛЕНИЕ УДЛИНЕННЫМИ ЗАРЯДАМИ

При заданном количестве ВВ, вмещающегося в 1 м выработки, ЛНС удлиненного заряда, расположенного параллельно обнаженной поверхности (рис.1),

$$W = P / q, \quad (6)$$

где P – вместимость 1 м выработки, кг; q – расчетный удельный расход ВВ, кг/м³. Согласно практическим данным, формула (6) применима и в случае $W < 1$ м.

При $W > 1$ м расчет ЛНС производится по формуле

$$W = 28d \sqrt{\frac{\Delta}{q}}, \quad (7)$$

где d – диаметр заряда, м; Δ – плотность заряжения ВВ, т/м³.

Формулами (6), (7) следует пользоваться только в случае, если длина заряда $l_{\text{зар}} \geq W$. Если заданная длина заряда $l_{\text{зар}} < W$, необходимо определить новую (сокращенную) линию наименьшего сопротивления

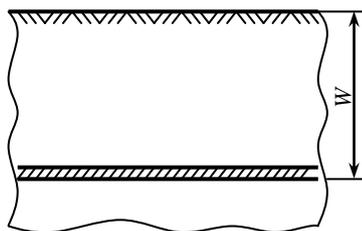


Рис.1. Удлиненный заряд, расположенный параллельно обнаженной поверхности

$$W_c = \sqrt[3]{\frac{Pl_{\text{зар}}}{q}}. \quad (8)$$

Согласно практическим данным, при значении подкоренного выражения меньше единицы,

$$W_c = \sqrt{\frac{Pl_{\text{зар}}}{q}}. \quad (9)$$

Масса удлиненного заряда, располагаемого параллельно обнаженной поверхности, при $l_{\text{зар}} \geq W$ (рис.1)

$$Q = Pl_{\text{зар}}. \quad (10)$$

Массу заряда при $l_{\text{зар}} < W$ вычисляют по формуле (6).

При взрывании серии параллельно расположенных зарядов, равноудаленных от обнаженной поверхности, расстояние между ними $a = mW$, где $m = 0,9 \div 1,4$.

1.3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА УДЛИНЕННЫХ ЗАРЯДОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО ОБНАЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Расчет удлиненных зарядов, взрывааемых при одной обнаженной поверхности, когда оси зарядов перпендикулярны ей (рис.2), зависит от мощности взрываемого слоя предельного значения, вычисляемого по формуле

$$H_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{2P}{q(3-q)}}, \quad (11)$$

где P – вместимость 1 м скважины (шпура), кг; q – расчетный удельный расход ВВ, кг/м³.

Если $H < H_{\text{пр}}$, заряды рассчитывают следующим образом:

- Определяют массу заряда

$$Q = qH^3. \quad (12)$$

- Рассчитывают длину заряда

$$l_{\text{зар}} = Q / P.$$

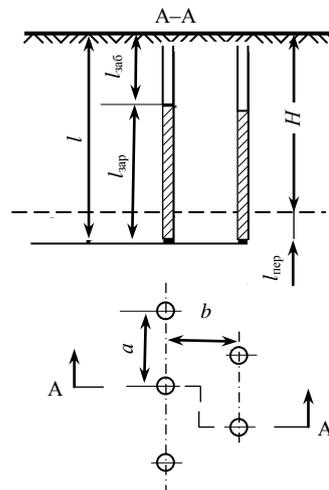


Рис.2. Удлиненные заряды, расположенные перпендикулярно обнаженной поверхности

- Устанавливают глубину скважины (шпура)

$$l = H + l_{\text{пер}}, \quad (13)$$

где $l_{\text{пер}}$ – глубина перебура, м.

Глубина перебура ориентировочно

$$l_{\text{пер}} = 0,5ql_{\text{зар}}. \quad (14)$$

Перебур не требуется, если скальная взрываема порода подстиляется нескальной. В этом случае допускается недобур в 2-4 диаметра заряда.

- Рассчитывают расстояние между зарядами в ряду

$$a = mH, \quad (15)$$

где m – относительное расстояние между зарядами, $m = 0,7 \div 1,2$.

• Определяют расстояние между рядами b . При многорядном расположении зарядов расстояние b (одновременное взрывание с расположением зарядов в шахматном порядке) рассчитывают по формуле (4), при порядном короткозамедленном взрывании зарядов $b = (0,7 \div 1,0)H$.

Если для заданных условий известен фактический удельный расход ВВ, масса заряда

$$Q = qabH, \quad (16)$$

где q выражено в килограммах на кубический метр, a , b и H – в метрах.

Величина забойки скважин (шпуров) должна быть не менее 1/3 глубины выработки.

Расчет удлиненных зарядов, взрываемых при одной обнаженной поверхности, когда ось заряда перпендикулярна ей (рис.2), а $H > H_{\text{пр}}$, производится следующим образом:

- Рассчитывают расстояние между зарядами в ряду

$$a = m\sqrt{P/q}, \quad (17)$$

где $m = 0,7 \div 0,9$.

- Принимают длину забойки $l_{заб}$ равной $15 \div 20$ диаметров заряда.

- Определяют (ориентировочно) глубину перебура

$$l_{пер} = 0,5Kq, \quad (18)$$

При взрывании в указанных условиях перебур не следует делать.

- Рассчитывают по формуле (13) глубину скважины (шпура) в метрах.

- Определяют массу заряда

$$Q = l_{зар}P. \quad (19)$$

- При многорядном расположении зарядов и порядном короткозамедленном взрывании расстояние между рядами $m = (0,9 \div 1,0)a$.

Если для заданных условий известен фактический удельный расход ВВ, параметры расположения зарядов, оси которых перпендикулярны обнаженной поверхности (рис.2), рассчитывают следующим образом:

- Определяют длину забойки и устанавливают ориентировочно значение перебура, после чего по формуле (19) вычисляют массу заряда Q и находят расстояние между зарядами. При расположении зарядов в шахматном порядке

$$a = 1,1\sqrt{Q/qH}; \quad b = 0,87a; \quad (20)$$

при расположении зарядов по квадратной сетке

$$a = b = \sqrt{Q/qH}, \quad (21)$$

где H – мощность взрываемого слоя, м; q – удельный расход ВВ, кг/м³.

1.4. ВЗРЫВАНИЕ НА ВЫБРОС

Выемки заданного профиля образуются взрыванием зарядов, рассчитанных на выброс породы.

Масса сосредоточенного заряда выброса определяется по формуле Борескова

$$Q = q_v W^3 (0,4 + 0,6n^3), \quad (22)$$

где q_v – расчетный удельный расход ВВ, кг/м³; W – линия наименьшего сопротивления, м; n – показатель действия взрыва; $n = r/W$; r – радиус воронки, м.

Для образования выемок на выброс заряды могут располагаться в один или несколько рядов.

При однорядном расположении расстояние между зарядами ($W > 1,5$ м)

$$a = 0,5W(n+1). \quad (23)$$

Значение a для часто встречающихся величин n :

a	1,25W	1,5W	1,8W	2,0W
n	1,5	2,0	2,5	3,0

При двухрядном или многорядном расположении и одновременном взрывании зарядов расстояние между рядами b принимается равным расстоянию между зарядами в ряду.

Если расстояния между зарядами в соседних рядах не равны между собой,

$$b = \frac{a_1 + a_2}{2}, \quad (24)$$

где a_1 и a_2 – расстояние между зарядами соответственно в первом и втором рядах.

При $n = 1 \div 2$ видимая глубина траншеи (рис.3)

$$h = 0,33W(2n-1). \quad (25)$$

В глинистых и суглинистых грунтах

$$h = 0,45W(2n-1). \quad (26)$$

В скальных породах при $n > 2$ видимая глубина траншеи равна ЛНС, но разрушающее действие взрыва проявляется на глубину, равную радиусу сферы сжатия (в дециметрах)

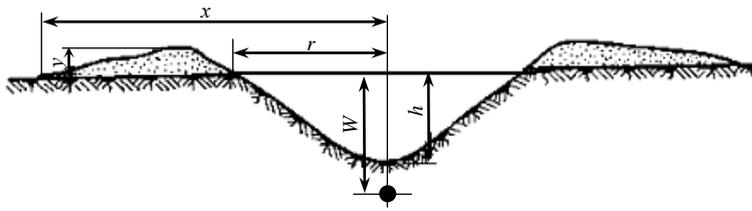


Рис.3. Схема действия заряда выброса

$$R_{сж} = 0,062\sqrt[3]{UQ}, \quad (27)$$

где U – коэффициент пропорциональности, учитывающий свойства породы, для скальных пород $U = 10$.

При проектировании траншей заданного профиля показатель действия взрыва n , число рядов зарядов и расстояние между рядами вычисляют графически с таким расчетом, чтобы проектируемая воронка соответствовала по возможности заданному профилю выемки.

При трехрядном расположении одновременно взрывааемых зарядов значение n для зарядов среднего ряда принимается большим, чем для зарядов крайних рядов, на 0,5. В случае замедленного или короткозамедленного взрывания среднего ряда показатели n зарядов увеличиваются на 0,2-0,3.

При взрывании на выброс в условиях горизонтального рельефа (рис.3) ширина и высота навала ориентировочно

$$x = 5nW; \quad (28)$$

$$y = 0,7W / n. \quad (29)$$

Масса удлиненного заряда выброса (в килограммах), ось которого параллельна обнаженной поверхности (см. рис.1),

$$Q = \frac{2q_v W^2 (0,4 + 0,6n^3)}{n + 1} l_{зар}, \quad (30)$$

где W – расстояние от оси заряда до свободной поверхности, м.

Формула (30) справедлива, если $l_{зар} \geq a$, где a вычисляется по формуле (23).

Видимая глубина выемки рассчитывается по формуле (25) или (26).

Для шлангового заряда

$$d = 1,1\sqrt{Q/\Delta l_{\text{зар}}}, \quad (31)$$

где Q – масса заряда, т; Δ – плотность заряжения ВВ, т/м³; $l_{\text{зар}}$ – длина заряда, м.

Если одним удлиненным зарядом не может быть получена выемка заданного профиля (недостаточная ширина понизу), параллельно располагают два или три заряда, удаленных один от другого на величину a , определяемую по формуле (23).

В зависимости от поставленной задачи заряды могут взрываться одновременно или с замедлением. При этом показатель действия взрыва n и последовательность взрывания зарядов принимаются аналогично.

Параметры удлиненных зарядов выброса в скважинах (шпурах), оси которых перпендикулярны поверхности, рассчитываются так же, как и параметры сосредоточенных зарядов, с учетом вместимости и расположения скважин. Принимается следующий порядок расчета:

- В соответствии с заданными параметрами выемки вычисляют массу сосредоточенного заряда Q по формуле (22) и расстояние между зарядами в ряду a по формуле (23).

- Устанавливают глубину скважин

$$l_c = (1,1 \div 1,2)W,$$

где W – ЛНС эквивалентного сосредоточенного заряда, м.

- Определяют вместимость одной скважины Q_c при условии ее заполнения взрывчатым веществом на $2/3$ глубины.

- Вычисляют расстояние между скважинами:

если $Q < Q_c$, расстояние между скважинами $a_c = a$;

если $Q > Q_c$, скважины сближают, определив расстояние между ними

$$a_c = a \frac{Q_c}{Q}. \quad (32)$$

Формулу (32) рекомендуется применять, когда

$$Q_c / Q > \frac{1}{3}.$$

При $Q_c / Q < \frac{1}{3}$ необходимо делать кусты из двух-трех скважин, при которых за расчетную массу заряда Q_c принимают сумму массы зарядов в кусте (данная методика расчета справедлива для выемок глубиной до 6 м).

1.5. МЕТОД КОТЛОВЫХ ЗАРЯДОВ

Котловыми называют заряды, размещенные в полости (котле), образованной расширением в определенных местах шпура или скважины путем простреливания малыми зарядами, прожигания и другими способами.

Шпуры и скважины, имеющие котлы, называют соответственно котловыми шпурами и котловыми скважинами.

Котловые заряды допускается применять в следующих случаях:

- когда ими технологически возможно и экономически целесообразно заменить камерные, скважинные или шпуровые заряды;

- когда сопротивление по подошве уступа настолько велико, что заряд, помещенный в скважину или шпур, не в состоянии его преодолеть.

Взрывным способом заданный объем котла получают одним или несколькими простреливаниями.

Масса прострелочного заряда

$$Q_{\text{пр}} = Q / (\Pi_{\text{пр}} \Delta)^n,$$

где Q – масса основного заряда, кг; $\Pi_{\text{пр}}$ – показатель простреливаемости, $\text{дм}^3/\text{кг}$ (табл.1); Δ – плотность ВВ (насыпная), $\text{кг}/\text{дм}^3$; n – показатель степени, равный порядковому номеру

простреливания, для последнего простреливания $n = 1$, для предпоследнего $n = 2$ и т.д.

Таблица 1

Ориентировочные значения показателя простреливаемости $P_{пр}$

Горная порода	Категория грунтов и пород по СНиПу	$P_{пр}$
Глина		
пластичная моренная	II	900-1400
черная	III	400-600
моренная	III	220-530
желто-бурая жирная	III	220-270
темно-красная жирная	III	170-250
Мергель		
мягкий трещиноватый	IV	100-170
мягкий сильно трещиноватый	IV	180-280
Глина ломовая темно-синяя	IV	100-150
Суглинок тяжелый, глина песчаная	IV	70-190
Мел мягкий, известняк-ракушечник	V	35-65
Мергель средней крепости, доломит мергелистый, известняк мягкий сильно трещиноватый	V-VI	Около 20, большое рассеивание значений
Гипс плотный, мелкозернистый, сланцы глинистые крепкие, гранит сильно трещиноватый, фосфориты средней крепости, силициты, известняки средней трещиноватости	VI-VIII	3-15
Гранит средней трещиноватости, кварциты плотные железистые, кварциты плотные серые, апатитонелефиновая руда, известняк плотный, змеевик с включением асбеста, песчаник, доломит	VII-XI	2-10
Роговики, скарны, мрамор, гранитоид, кремень пластовый, известняки крепкие,	VII-XI	0,2-5

гранит крупно- и среднезернистый, |
фосфориты крепкие, доломит крепкий |

По этой формуле масса последнего прострелочного заряда

$$Q_1 = Q / (\Pi_{\text{пр}} \Delta).$$

Масса предпоследнего прострелочного заряда

$$Q' = Q / (\Pi_{\text{пр}} \Delta)^2.$$

Чтобы определить необходимое число простреливаний, находят, прежде всего, предельно допустимую массу первого прострелочного заряда, которую вычисляют по диаметру котла (в дециметрах), принимаемого шарообразным,

$$D_k = 1,24 \sqrt[3]{Q / \Delta}.$$

Длину первого прострелочного заряда $l_{\text{зар}}$ можно принять равной значению D_k . Если не предъявляется особых требований к степени сосредоточенности заряда, $l_{\text{зар}}$ увеличивается. При $l_{\text{зар}} = 2D_k$ отношение длины полученной полости к ее поперечному размеру примерно равно четырем. Выбирая $l_{\text{зар}}$, необходимо стремиться к тому, чтобы число простреливания было минимальным.

Масса первого прострелочного заряда не должна превышать $Q_{\text{нач}}$. По вместимости заряжаемой части скважины (шпура)

$$Q_{\text{нач}} = P l_{\text{зар}},$$

где P – вместимость 1 м скважины (шпура), кг.

Тогда

$$l_{\text{зар}} = (1 \div 2) D_k.$$

Если $Q_1 < Q_{\text{нач}}$, требуемый котел можно получить с одного простреливания. При $Q_1 > Q_{\text{нач}}$ надо делать два простреливания или

больше, вычисляя массу зарядов Q_1 , Q_2 и т.д. до тех пор, пока последний из них не станет меньше $Q_{нач}$. Его и следует принимать за первый прострелочный заряд.

При проведении работ по простреливанию необходимо контролировать объем котла и уточнять опытным путем показатель простреливаемости $\Pi_{пр}$. Требуемый объем котла (в кубических дециметрах)

$$V_k = Q / \Delta .$$

Объем котла может измеряться специальными приборами или определяться на опытной скважине (шпуре) с помощью засыпания в нее известного количества инертного сыпучего материала.

2. ТЕХНОЛОГИЯ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ВЫЕМОК

При сооружении выемок в скальных породах особое значение придается устойчивости откосов выемки. Для получения выемок с точно и хорошо отработанным профилем без нарушения естественного строения пород в откосах применяют контурное взрывание. Выемки можно оконтуривать до или после разрушения основной массы породы в пределах проектного контура выемки. В первом случае по контуру выработки делают щель, т.е. предварительно оконтуривают. В литературе этот метод известен как метод предварительного щелеобразования. Во втором случае заряды оконтуривающих скважин (шпуров) взрывают после скважин (шпуров) рыхления. Такой способ в отличие от предыдущего принято называть последующим оконтуриванием. Условия работы зарядов при этих способах резко отличаются друг от друга: при предварительном оконтуривании заряды работают в зажиме (одна обнаженная поверхность), при последующих – при наличии второй обнаженной поверхности, в сторону которой отбивается горная порода. В сопоставляемых способах технология и организация работ будут различными.

Метод предварительного оконтуривания может применяться при наличии холостых (незаряженных) шпуров или скважин между заряженными. Наличие холостых шпуров изменяет условия работы зарядов, так как появляется дополнительная обнаженная поверхность. По этому признаку методы контурного взрывания с предварительным оконтуриванием можно разделить на две группы: с использованием холостых скважин (шпуров) и без применения их.

Для методов с последующим оконтуриванием использование холостых шпуров не является характерным, а общей основой повышения качества оконтуривания является уменьшение разрушающего действия взрывов контурных зарядов на окружающую породу. В принципе это может быть достигнуто за счет изменения параметров зарядов и их расположения. В этой связи целесообразно выделить две разновидности метода: при нормальном и уменьшенном диаметре зарядов.

Разнообразие методов последующего оконтуривания связано в основном с отсутствием взрывчатых веществ, удовлетворяющих требованиям контурного взрывания, и в связи с этим необходимостью изменения конструкции контурного заряда. При контурном взрывании по линии откоса забуривают скважины малого диаметра (76-105 мм), в которых размещают заряды пониженной плотности (0,1-1,0 кг на 1 м скважины). Низкая плотность заряжения достигается за счет создания воздушных зазоров по длине и по радиусу заряда (рис.4).

Для определения плотности заряжения контурных скважин при методе предварительного щелеобразования (оконтуривания) в зависимости от физико-механических свойств горных пород предложена номограмма (рис.5, а). В соответствии с номограммой установлена оптимальная плотность заряжения в зависимости от крепости пород для различных типов ВВ (рис.5, б).

Вторым фактором, определяющим эффективность контурного взрывания, в частности предварительного щелеобразования, является выбор рационального расстояния между оконтуривающими скважинами.

На **рис.6** приведены зависимости значений неровности боковой поверхности выемки от расстояния между скважинами.

Из **рис.6** следует, что существует интервал изменения расстояния между скважинами, в пределах которого качество оконтуривания изменяется незначительно. Дальнейшее увеличение расстояний между скважинами приводит к резкому ухудшению качества оконтуривания, возрастанию значений неровностей.

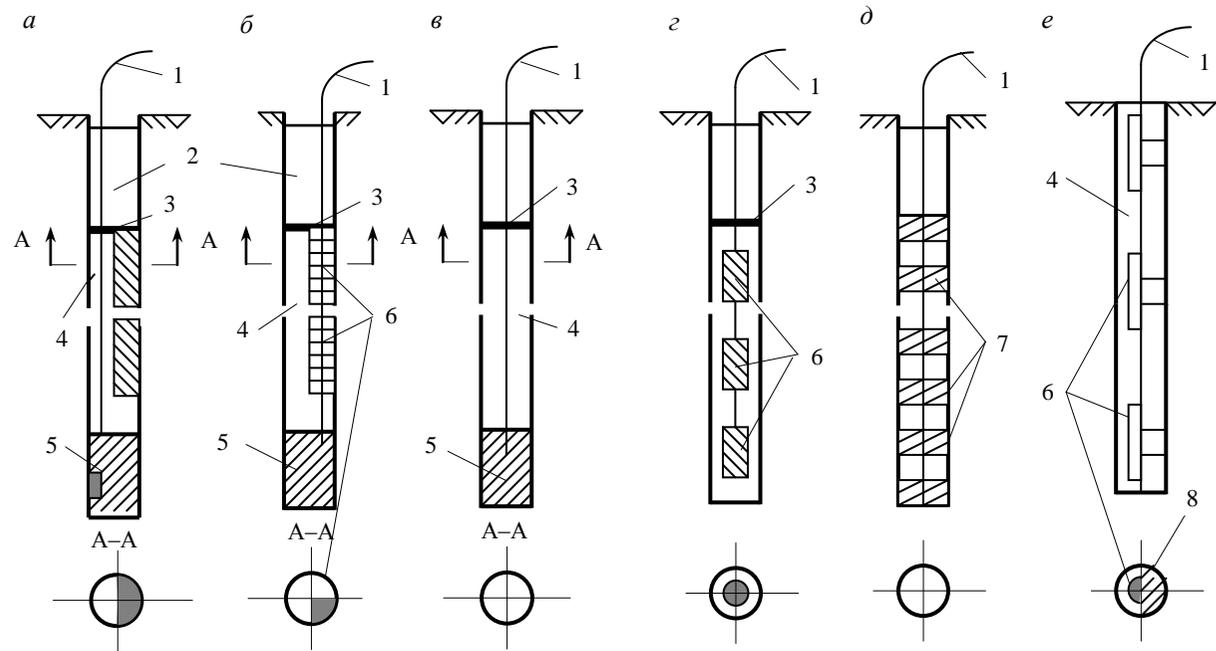
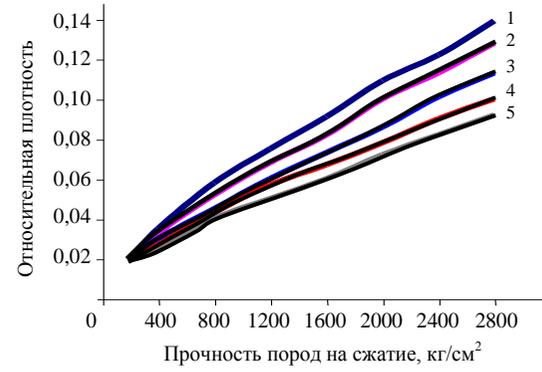


Рис.4. Конструкции скважинных зарядов при контурном взрывании: *a* – сплошной заряд диаметром 16-20 мм; *б* – полупатроны ВВ; *в* – воздушный промежуток; *г* – патроны ВВ, прикрепленные к детонирующему шнуру (ДШ); *д* – рассредоточенный заряд из рассыпного ВВ; *е* – стержневой заряд

1 – ДШ; 2 – забоечный материал; 3 – бумажная пробка; 4 – воздушный промежуток; 5 – донные заряды; 6 – полупатроны ВВ; 7 – патроны ВВ; 8 – деревянная рейка

a



б

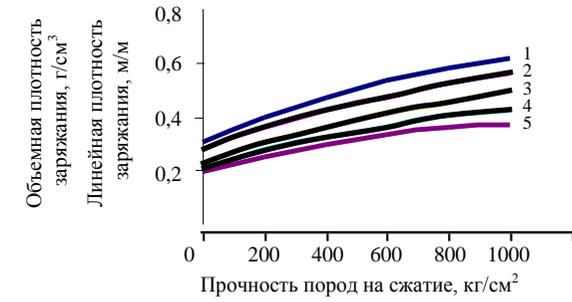


Рис.5. Зависимость плотности заряжания контурных скважин от крепости пород: *a* – номограмма для определения относительной плотности заряжания контурных скважин при предварительном оконтуривании; *б* – номограмма для определения объемной и линейной плотности заряжания контурных скважин

1 – аммонит ПЖВ-20; 2 – аммонит № 6; 3 – аммонит № 6 ЖВ; 4 – детонит 6 А; 5 – детонит 15 А-10



Рис.6. Зависимость величины неровности боковой поверхности выемки от расстояния между скважинами

1 – диабазы; 2 – известняки; 3 – граниты; 4 – диориты; 5 – каранкулиты

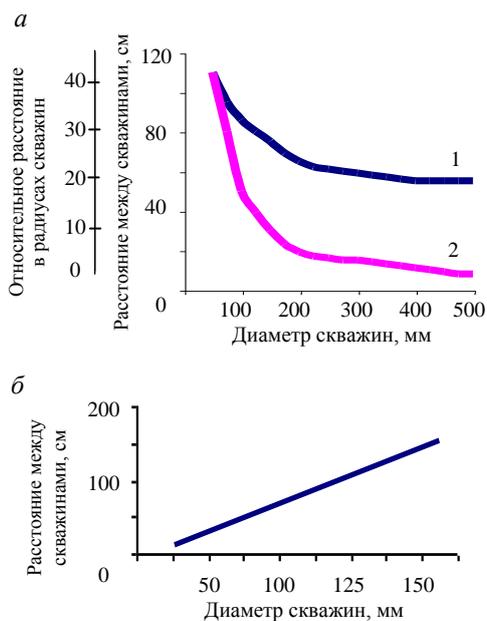


Рис.7. Зависимость расстояния между контурными скважинами от их диаметра: *а* – при постоянной линейной плотности заряжения; *б* – при постоянной объемной плотности заряжения

1 – для абсолютного значения расстояний;
2 – для относительных расстояний

На основании экспериментальных исследований разработаны зависимости, характеризующие изменение расстояния между контурными скважинами от их диаметра при постоянной линейной (рис.7, *а*) и объемной плотности заряжения (рис.7, *б*). При постоянной линейной плотности масса 1 м заряда остается неизменной независимо от диаметра скважины. При постоянной объемной плотности масса 1 м заряда изменяется пропорционально квадрату диаметра заряда.

Расстояние между оконтуривающими скважинами зависит также от трещиноватости

и слоистости горных пород (табл.2). При большей трещиноватости массива расстояния между контурными скважинами должны уменьшаться.

Параметры расположения оконтуривающих скважин диаметром 105 мм приведены в табл.3.

Для заряжения оконтуривающих скважин следует применять низкобризантные ВВ. Взрыв контурных скважин осуществляется до взрыва остальных скважин или в один прием с зарядами рыхления, но с опережением на 75-100 мс.

При взрыве контурных скважин образуется щель, которая ограничивает распространение трещин за контур выемки при взрыве зарядов рыхления.

Таблица 2

Ориентировочные расстояния между оконтуривающими скважинами при предварительном оконтуривании выработок

Характеристика горных пород	Направление щели по отношению к основной системе трещин	Расстояние между скважинами диаметром 60-110 мм, см
Известняк VI-VII группы горизонтального залегания с глинистыми пропластками и вертикальными трещинами, разбит на блоки 20-50 см в наибольшем ребре	Щель параллельна основной системе трещин	90
То же	Щель под углом 30-70° к системе трещин	70
Известняк VIII группы, пласты сильно трещиноватые	Щель параллельна основной системе трещин	80
То же	Щель под углом 30-70° к системе трещин	60-70
Песчаник тонкозернистый VI группы, крупноблочный	Вертикальной трещиноватости нет	60
Гранит X группы, трещиноватый	Господствующая система трещин отсутствует	60
Диабаз X группы, трещиноватый крупноблочный	Щель параллельна основной системе трещин	70
То же	Щель под углом 30-70° к основной системе трещин	50

Примечание. Для патронов аммонита № 6 ЖВ диаметр 32 мм.

При взрыве контурных скважин образуется щель, которая ограничивает распространение трещин за контур выемки при взрыве зарядов рыхления.

Таблица 3

**Параметры буровзрывных работ
при взрывании контурных скважин диаметром 105 мм**

Глубина скважин, м	Масса заряда в скважине по ЕНиР для групп пород, кг		Глубина скважин, м	Масса заряда в скважине по ЕНиР для групп пород, кг	
	V-VII	VIII-IX		V-VII	VIII-IX
5	1,5-2,0	2,0	11	3,4-5,0	5,0
6	1,8-2,6	2,6	12	3,8-5,6	5,6
7	2,1-3,0	3,0	13	4,1-6,0	6,0
8	2,4-3,6	2,6	14	4,4-6,6	6,6
9	2,8-4,0	4,0	15	4,8-7,0	7,0
10	3,1-4,6	4,6			

Примечания. 1. Масса ВВ на 1 м скважины для V-VII групп горных пород – 0,33-0,5 кг; для VIII-IX групп пород – 0,5-0,6 кг.

2. Длина забойки во всех случаях 2 м.

Для контурного взрывания характерно следующее:

- увеличивается объем работ по бурению и зарядке контурных скважин;
- уменьшается объем скальных работ за счет увеличения крутизны откосов;
- исключаются или сокращаются планировочные работы;
- откосы получаются устойчивыми и ровными;
- уменьшаются эксплуатационные расходы по содержанию таких выемок.

Приведенные графические зависимости и табличные данные позволяют установить основные параметры контурного взрывания:

линейную и объемную плотности заряжения контурных скважин и расстояния между ними.

3.ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДВОДНЫХ ТРАНШЕЙ

Рыхление грунтов при строительстве подводных траншей производят при помощи наружных, шпуровых и скважинных зарядов.

Метод наружных сосредоточенных зарядов (рис.8) широко используется, если глубина рыхления не превышает 0,3-0,5 м. Если мощность разрыхляемого слоя превышает 0,5 м, его разрыхляют в несколько приемов наружными зарядами или за один прием шпуровыми или скважинными зарядами. Перед укладкой наружных зарядов наносы, покрывающие скальный массив, следует удалить. Под воду разрешается опускать только такое число зарядов, которое будет взорвано за один прием. Общий расход ВВ при использовании наружных зарядов

$$Q = q_n WS, \quad (33)$$

где q_n – удельный расход ВВ, кг/м³; W – глубина рыхления, м; S – площадь взрывающего участка, м².

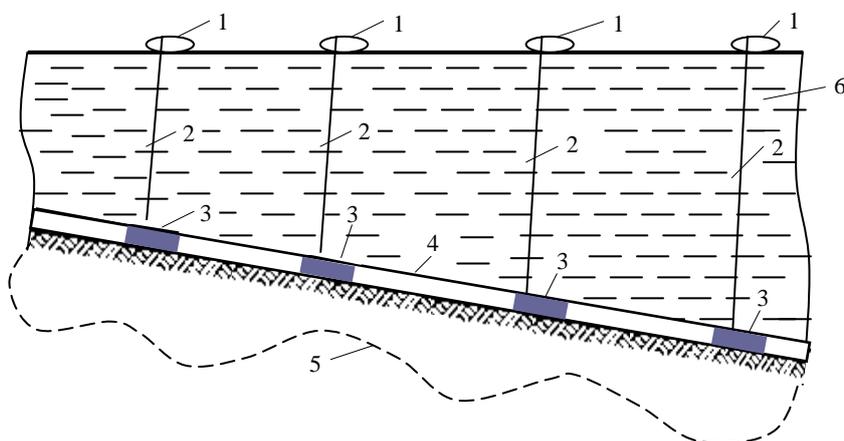


Рис.8. Схема образования подводной траншеи накладными сосредоточенными зарядами

1 – буйки; 2 – шпуры; 3 – заряды; 4 – ДШ; 5 – профиль образовавшейся в результате взрыва траншеи; 6 – слой воды

Удельный расход ВВ при разработке скальных пород подводными наружными зарядами следующий:

Группа грунтов и пород по СНиП	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Удельный расход ВВ, кг/м ³	12	20	30	35	40	70	100	150	205	300

Указанный удельный расход ВВ приведен для случая, когда глубина погружения заряда в воду составляет не менее $2W$. Если глубина погружения заряда менее $2W$, массу заряда, вычисленную по формуле (33), необходимо увеличить: при глубине погружения $1,4W$ на 25 %; при $(0,7 \div 1,4)W$ на 50-25 %.

В зависимости от условий разработки расстояния между наружными зарядами в одном ряду принимают равными $(3 \div 3,5)W$, расстояние между рядами зарядов – $(2,5 \div 3,0)W$. Накладные заряды изготовляют в виде пакетов, в которые вводят балласт (рис.9, а). Балласт должен обеспечивать плотное прилегание заряда ко дну. К каждому

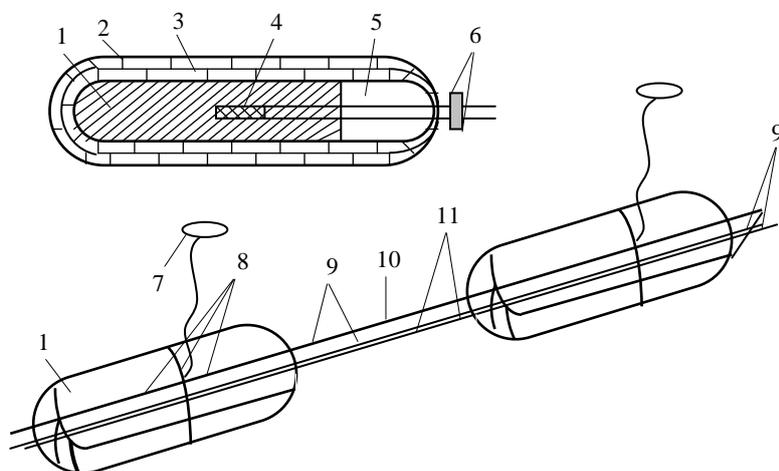


Рис.9. Накладной заряд для прокладки подводных траншей и дноуглубительных работ: а – конструкция заряда; б – монтаж заряда по длине участка

1 – заряд ВВ; 2 – полиэтиленовая оболочка; 3 – бумажные мешки; 4 – боевик из двух-трех нитей ДШ; 5 – балласт; 6 – шпагат; 7 – буюк из поплавков; 8 – места привязывания заряда и ДШ; 9 – связка концов боевика; 10 – канат; 11 – магистраль из двух нитей ДШ

заряду

ПОДВЯЗЫ-

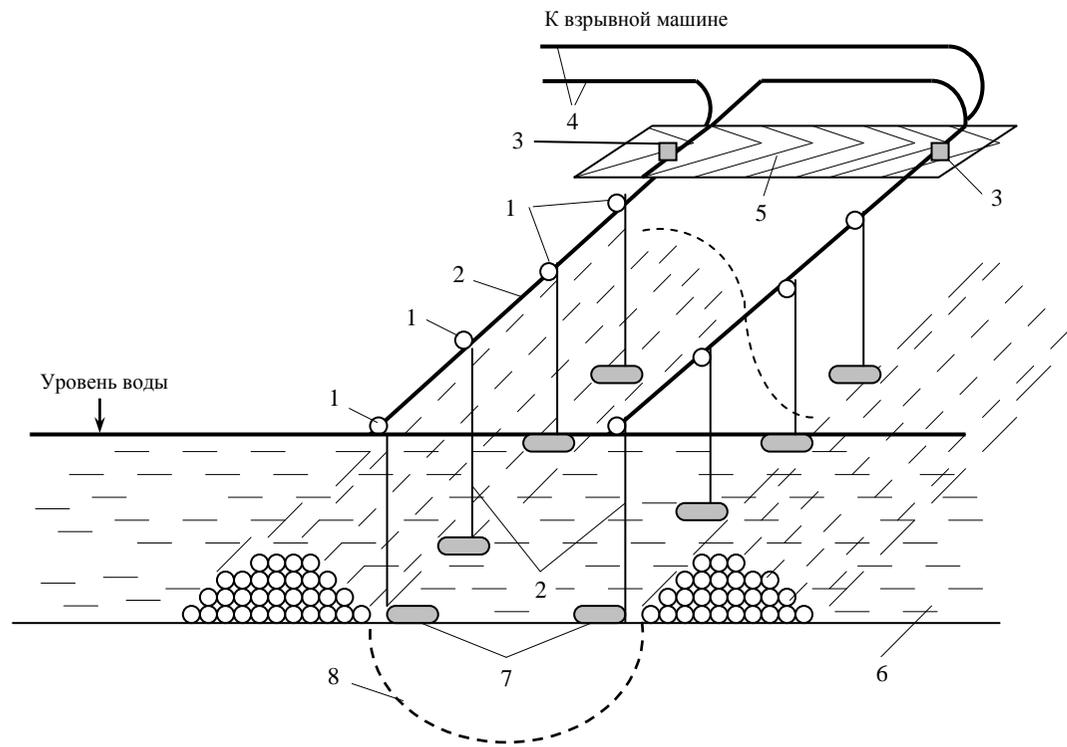


Рис.10. Схема взрывной сети при взрывании подводных накладных зарядов

1 – поплавок; 2 – ДШ; 3 – электродетонатор (ЭД); 4 – магистральные провода взрывной сети; 5 – доска (буй);
6 – слой воды; 7 – заряд ВВ; 8 – контур образующейся траншеи

вают буюк (рис.9, б). Накладные заряды опускают на шпагате или проволоке. В зимнее время заряды опускают через проруби или майны; на берегах размечают створы на каждый ряд зарядов (рис.10).

Радиус рыхления наружными зарядами

$$R = \sqrt{Q / K_f l_k},$$

где K_f – коэффициент, зависящий от крепости породы, $K_f = 0,3 \div 0,7$ (верхний предел для более крепких пород); l_k – коэффициент, зависящий от свойств ВВ, и, в частности, для аммонита № 6 ЖВ $l_k = 1,72$.

Для образования траншей и прочих выемок могут быть использованы удлиненные заряды (рис.11). При рыхлении грунта удлиненными зарядами отсутствуют перемычки, которые обычно образуются при взрыве сосредоточенных зарядов. Заряды, в большинстве случаев в заводской упаковке (в ящиках, мешках), укладывают по оси траншеи вплотную в ряд длиной 20-25 м, пригружая сверху балластом, чтобы предотвратить их всплытие. На малых глубинах при толщине разрыхляемого слоя свыше 0,5 м целесообразно для укладки зарядов выбрать небольшую канавку взрывным способом либо с помощью механизмов, если позволяет

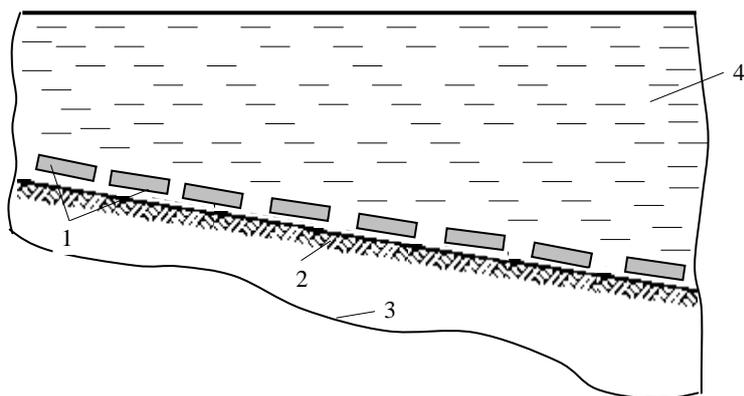


Рис.11. Схема устройства подводной траншеи удлиненными зарядами

1 – заряд ВВ; 2 – контур грунта до взрыва; 3 – контур образованной траншеи;
4 – слой воды

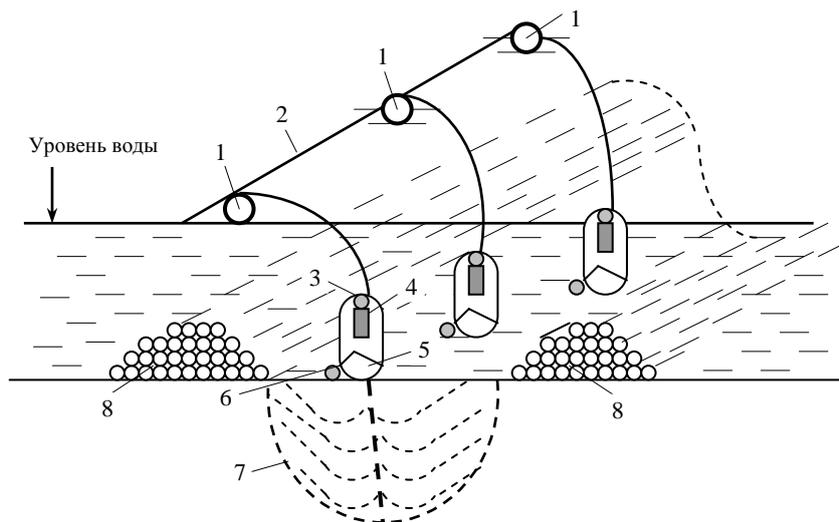


Рис.12. Схема образования подводной траншеи зарядом направленного действия
 1 – поплавок; 2 – провод ЭД; 3 – ЭД; 4 – заряд ВВ; 5 – кумулятивная выемка; 6 – бетонный куб (груз); 7 – контур образующейся траншеи; 8 – выброшенная порода

крепость грунта. Глубина воды над зарядом должна быть не менее 0,5 м. Удлиненные заряды позволяют получать траншею глубиной до 0,8 м за один прием. При бóльшей глубине траншеи рекомендуется производить рыхление грунта в несколько приемов. Перед укладкой зарядов для последующих взрываний необходимо очищать траншею от раздробленного грунта с помощью гидромониторов или винтов крупных судов.

При использовании обычных накладных зарядов на рыхление скалы расходуется незначительная часть энергии взрыва. Поэтому представляют интерес специальные заряды направленного действия, в которых взрывчатка расположена над металлическим кожухом определенной конфигурации. При взрыве преобладающая часть энергии направляется линейно в одну сторону, в данном случае вниз (рис.12). В каждом конкретном случае конструкция взрывного устройства должна соответствовать породе и заданным глубине и ширине траншеи, что обеспечивается изменением угла

между металлическим кожухом и стенками устройства, количества и состава взрывчатки, расстояния между отдельными зарядами.

При такой технологии отпадает необходимость использовать большое количество ВВ или бурить со специальной баржи шпуры для размещения ВВ. Специально сконструированные для данных условий взрывные устройства поступают на место производства работ в собранном виде. На месте работ остается лишь заполнить свободное пространство между конусом и стенками устройства ВВ.

Взрывные устройства с профилированными зарядами устанавливают по оси будущей траншеи. В основании зарядов закрепляют бетонные блоки, благодаря которым устройства сохраняют вертикальное положение. Для усиления направленности действия взрыва в коническом пространстве оставляют воздушную полость. При той же массе заряда и параметрах расположения в зависимости от свойств грунта глубина рыхления возрастает в 1,5-2,5 раза. Особо эффективны заряды направленного действия для рыхления крепких скальных пород.

Метод наружных зарядов для рыхления грунтов в подводных условиях имеет то преимущество, что его применение дает возможность быстро выполнять взрывные работы без использования буровых механизмов. Недостатками его являются применение только при больших глубинах рыхления и в некрепких скальных породах; значительная трещиноватость пород после взрыва; необходимость ведения работ на большой глубине; большой расход взрывчатого материала (ВМ). Во всех других случаях при более или менее значительном объеме работ в одной точке (глубина рыхления 0,8-3,0 м) более выгодными являются методы шпуровых, или скважинных зарядов.

Метод шпуровых (скважинных) зарядов. В этом случае масса подводного заряда рыхления при шпуровой или скважинной отбойке

$$Q = q_3 W^3,$$

где q_3 – удельный расход ВВ; W – кратчайшее расстояние от центра заряда до ближайшей открытой поверхности, называемой ЛНС.

Удельный расход ВВ составляет, кг/м³:

Песок рыхлый и псыуны	0,4
Гравелистые породы	0,7
Супесок плотный с мелкой галькой	0,9
Песок очень плотный или песок с крупной галькой	1,1
Суглинок плотный	1,35
Синяя глина плотная	1,4
Скальные породы мягкие, с естественными нарушениями	1,55-1,6
Скала известняковая и другие скальные породы средней крепости (без трещин)	1,86
Скала гранитная	2,2

Расчетное значение ЛНС принимается большим глубины рыхления на 0,2-0,4 м.

Расстояния между зарядами в ряду, а также между рядами во многом зависят от применяемых для уборки взорванной породы механизмов: при более мощных это расстояние увеличивается, а при менее мощных – уменьшается. При выборе расстояний между шпурами и их рядами для опытных взрывов можно использовать данные табл.4. Опыт работы показал, что длина шпуров (скважин) должна быть на 1 м больше, чем глубина заданного рыхления; исключения составляют небольшие глубины рыхления (0,2-0,4 м), где перебур составляет 0,4-0,5 м.

Таблица 4

Зависимость расстояний между шпурами и их рядами от грунта

Грунт	Пределы расстояний	
	между шпурами	между рядами шпуров
Плотный	(1-1,25)W	(1-1,25)W
Трещиноватый	(1,75-2)W	(1,5-1,75)W

Диаметр шпура (скважины)

$$d_{ш} = 0,63W \sqrt{q_3 / \Delta} ,$$

где W – мощность разрыхляемого слоя, м; Δ – плотность заряжания.

Если по тем или иным причинам невозможно образовать шпур (скважину) расчетного диаметра, производят послойное взрывание. В этом случае мощность разрыхляемого слоя

$$W = d_{ш} \sqrt{4\Delta / q_3} .$$

В зависимости от заданной глубины рыхления принимаются остальные параметры (табл.5).

Бурение шпуров может производиться водолазами (при небольших объемах работ) либо с плавучих средств. Наиболее распространено бурение шпуров и скважин в летнее время с понтонов, плотов, специальных платформ, а в зимний период – непосредственно со льда. Толщина льда должна быть такой, чтобы обеспечивалась полная безопасность работ. Пробуренные шпуры или скважины обычно обсаживают трубами, выступающими над устьем шпура на 0,5-1,0 м. При необходимости обсадные трубы могут быть выведены над поверхностью воды. Трубы и вешки-пробки для обозначения шпуров (скважин) можно устанавливать с поверхности, а также со дна с помощью водолазов. После установки вешки-пробки или после заряжания шпуров (скважин) обсадные трубы необходимо извлекать.

Таблица 5

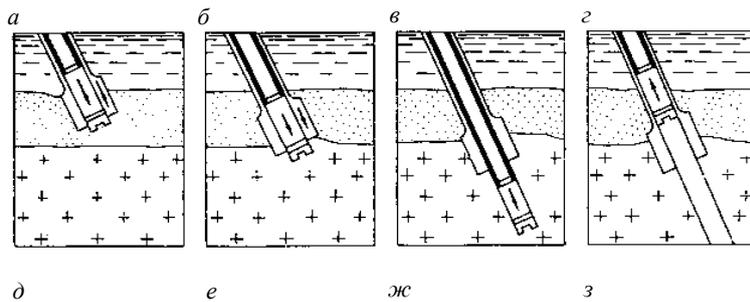
Основные параметры расположения зарядов (для аммонита № 6)

Глубина, м		Масса заряда в скважине, кг	Расстояние, м	
рыхления	скважины		между скважинами в ряду	между рядами

1	2	4,5	1,2	1,2
1,25	2,25	6	1,5	1,5
1,5	2,5	7,5	1,8	1,8
1,75	2,75	8	2,1	2,1
2	3	12	2,4	2,4
2,25	3,25	17	2,7	2,7
2,5	3,5	19	3	3,
3	4	22	3,6	3,6

Заряжание шпуров и скважин может производиться как со дна, так и с поверхности воды с плавучих средств по зарядным трубам. Перед заряжением из шпура или скважины извлекают трубку-вешку.

В качестве зарядных труб можно использовать пластмассовые трубки (рис.13). Обсадную трубу и бур погружают через слабые грунты до кровли скалы. После погружения обсадной трубы в кровлю скалы примерно на 10 см дальнейшую проходку скважин (шпуров) ведут одним буром. После достижения проектной глубины бур вынимают, а через обсадную трубу опускают пластмассовую трубку, закрепляя ее в скважине при помощи кольца из липкой ленты. После этого обсадную трубу удаляют и через пластмассовую трубу заряжают скважину. Уплотнение ВВ в скважине может осуществляться пневмозарядчиком или сжатым воздухом, подаваемым гибким шлангом с ножевым соплом.



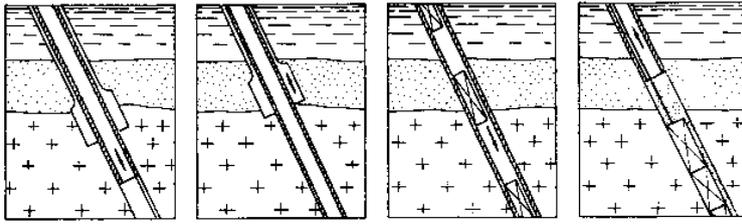
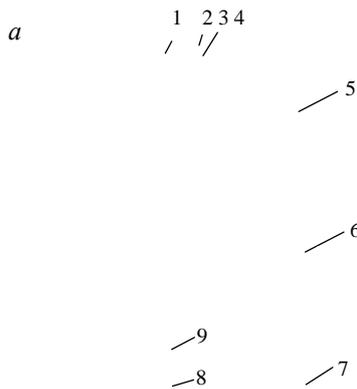


Рис.13. Последовательность операций при бурении и зарядке скважин через слой ила под водой: *a* – совместное погружение обсадной трубы и бура с подмывом сквозь слабые грунты; *b* – погружение обсадной трубы на 10 см в скалу; *c* – пробуривание скважины в скале без обсадной трубы; *d* – извлечение бура по достижении проектной отметки; *e* – погружение на 30 см в скалу пластмассовой трубки; *e* – извлечение обсадной трубы; *жс* – зарядка шпура взрывчатим веществом; *з* – извлечение пластмассовой трубки после заряжания

Для ускорения заряжания патронированными и гранулированными ВВ зарядная труба (пластмассовая или металлическая) должна иметь сплошную продольную прорезь для извлечения из нее свободных концов ДШ после его установки или кондуктор с выемкой со стороны трубы для опускания боевика и концов ДШ. Наличие прорези при кондукторах позволяет вести заряжание без поднятия зарядной трубы на поверхность воды после засыпки ВВ в каждый шпур или скважину. Скважины и шпуры заряжают патронированными ВВ с помощью стального шеста диаметром 15 мм, выступающего над поверхностью воды на 1 м. По шесту, как по направляющей, опускают в скважину заряды, снабженные двумя проволочными петлями (рис.14, *a*). Для обеспечения надежного потопления заряда в торце заряда следует разместить балласт (рис.14, *б*), в качестве которого используется песок, металлические шары и т.п. Перед опусканием заряда целесообразно разжижить ил, осевший в скважине, несколько раз приподнимая и опуская шест. Это позволит глубже опустить заряды в скважине, так как разжиженный ил вытесняется из скважины под массой заряда.



Заряженные шпуровые заряды обозначают буйками. Для заряжения применяют водоустойчивые гранулированные, шнекованные, патронированные или рассыпные ВВ. При использовании неводоустойчивых ВВ заряды следует гидроизолировать крафт-целлюлозной битуминизированной бумагой или деревянными, металлическими, полиэтиленовыми или пергаментными оболочками.

В ряде случаев необходимо разрыхлять под водой породу внутри колодцев, тоннелей, заполненных водой и т.д. Ведение взрывных работ в этих условиях сопряжено с опасностью повреждения стенок сооружения, так как ударная волна в воде затухает незначительно. Поэтому внутри сооружений (даже сравнительно больших размеров) грунт под водой рыхлят только шпуровыми зарядами с обязательным применением забойки из крупнозернистого песка, мелкого щебня, гранулированного шлака и т.п.

Длина забойки должна быть не менее 1/3 длины шпура. Взрывание шпуровых зарядов с забойкой позволяет уменьшить максимальное давление в 7-10 раз по сравнению со взрывом

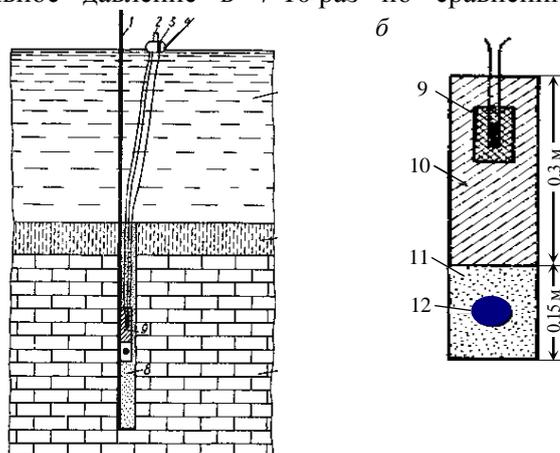


Рис.14. Схема заряжения шпуров под водой патронированными ВВ с помощью металлического шеста: *a* — размещение заряда в шпуре; *б* — конструкция заряда

- 1 – шест; 2 – провода электровзрывной сети; 3 – шнур для опускания заряда в шпур;
 4 – буюк; 5 – слой воды; 6 – ил; 7 – разрыхляемая порода; 8 – ил, осевший в шпуре;
 9 – боевик; 10 – заряд ВВ; 11 – песок; 12 – металлический шар (балласт)

накладных зарядов такого же веса.

4. ТЕХНОЛОГИЯ РЫХЛЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Прочность скальных (и полускальных) мерзлых пород значительно выше прочности тех же пород, находящихся в талом состоянии вследствие цементирующего действия льда или мелкодисперсного грунтового заполнителя трещин массива. Чем больше трещиноватость и влажность пород, тем больше их прочность в мерзлом состоянии. Так, для диабазов отношение пределов прочности на сжатие в мерзлом и талом состояниях равно 1,3. С уменьшением прочности пород и увеличением влажности соотношения прочностей в мерзлом и талом состояниях возрастают и составляют для известняков 1,5-3, для мергелей 4,7. Качество дробления скальных пород, находящихся в мерзлом состоянии, при том же значении удельного расхода ВВ выше, чем в талом, благодаря бóльшему участию в процессе разрушения волн напряжений, возникающих при взрыве. Тем не менее, основными факторами, определяющими взрываемость скальных пород, являются их прочность и трещиноватость в массиве, что и принимается за основу при составлении классификаций этих пород по взрываемости.

Мерзлые песчаные и глинистые породы в отличие от скальных не имеют непосредственных кристаллизационных связей между минеральными частицами. Прочностные характеристики их не постоянны и зависят от многих факторов, прежде всего от цементирующего действия льда, образующегося в результате криогенных преобразований поровой воды из жидкого состояния в твердое (лед). Нестабильность свойств песчаных и глинистых мерзлых пород обуславливает также изменение температуры пород и их напряженного состояния в результате фазовых преобразований воды и возникающих при этом в массиве сжимающих напряжений.

Основное влияние на изменение физико-механических свойств песчаных и глинистых мерзлых пород оказывают гранулометрический состав минеральных частиц, водонасыщенность и температура промерзания. В результате криогенных преобразований прочностные

характеристики этих пород изменяются в очень широких пределах и при определенных условиях приближаются к прочности скальных пород, поэтому их разработка без проведения предварительных мероприятий по оттаиванию или рыхлению практически невозможна.

Одним из эффективных способов рыхления мерзлых песчаных и глинистых пород является взрывной способ. В технической литературе и нормативных документах (СНиП) эти породы подразделяются на группы по гранулометрическому составу минеральных частиц и процентному содержанию скальных включений. Однако основные факторы, обуславливающие их сопротивляемость разрушению, практически не учитываются. Поэтому параметры буровзрывных работ, и в первую очередь удельный расход ВВ, определяют эмпирически в процессе производства работ. Это приводит к неоправданному завышению удельного расхода ВВ, некачественному дроблению, простоям механизмов, значительному разлету кусков взорванной породы.

В результате многолетних комплексных исследований ЦПЭССЛ треста «Союзвзрывпром» разработана и испытана в производственных условиях классификация песчаных и глинистых мерзлых пород по взрываемости (табл.6). Исследования проводились в лабораторных и производственных условиях на объектах треста «Союзвзрывпром».

Таблица 6

Классификация мерзлых песчано-глинистых пород по взрываемости

Категория взрываемости. Наименование и вид пород	Температура, °С	Категория льдистости	Показатель простреливаемости, дм ³ /кг	Рекомендуемый удельный расход ВВ при взрывании на рыхление, кг/м ³
<i>Легковзрываемые</i> Сезонно-мерзлые и многолетнемерзлые растительного слоя, песчаные и супесчаные со степенью водонасыщения до 0,5 и выше 0,9 полной влагоемкости	0 и ниже	Сильнольдистые (содержание льда свыше 50 %)	14-35	0,4-0,6
<i>Средневзрываемые</i>				

Сезонно-мерзлые и многолетнемерзлые растительного слоя, песчаные и супесчаные со степенью водонасыщения от 0,5 до 0,8 полной влагоемкости	То же	Льдистые (содержание льда 25-50 %)	14-35	0,6-0,8
Сезонно-мерзлые и многолетнемерзлые моренные, обломочные, гравийные с песчаным и супесчаным заполнителем	– « –	То же	11-32	0,6-0,8
Сезонно-мерзлые и многолетнемерзлые глинистые и суглинистые, а также моренные, обломочные, гравийные с глинистым заполнителем	–5 и ниже	– « –	23-55	0,6-0,8
<i>Трудновзрываемые</i> Сезонно-мерзлые и многолетнемерзлые глинистые и суглинистые, моренные, обломочные, гравийные с глинистым заполнителем	0-5	Слабодлистые (содержание льда до 25 %)	35-70	0,8-1,1

В лабораторных условиях определяли прочностные характеристики мерзлых песчаных и глинистых пород и измеряли скорость прохождения ультразвуковых волн. При проведении экспериментов изменяли один из факторов: влажность или температуру породы, все остальные оставались постоянными.

Динамику процесса разрушения образцов взрывом изучали с помощью скоростной киносъемки. Критерием качества дробления служил средний диаметр куска. В результате обработки результатов экспериментов получена зависимость среднего диаметра куска (в миллиметрах) от влажности и температуры:

$$d_{cp} = -aW^2 + bW + c ,$$

где W – влажность по массе, %; a , b , c – коэффициенты, зависящие от температуры породы t и условий проведения опыта.

Характер зависимости одинаков при различных температурах, однако значения коэффициентов различны:

$t, ^\circ\text{C}$	a	b	c
-2	-4,5	94,2	393,3
-5,5	-2,7	53	178,6
-7,5	-1,9	35,7	77
-10	-3,1	59,6	182

На [рис.15](#) показано изменение среднего диаметра куска в зависимости от влажности и температуры мерзлого песка. Из графиков видно, что увеличение среднего диаметра куска происходит до определенного предела, соответствующего влажности (по массе), равной 10-12 % (при полной влагоемкости песка 14 %). С увеличением влажности до полной влагоемкости (все поры породы заполнены льдом) качество дробления возрастает, приводя к значительному снижению среднего диаметра куска.

В мерзлых песчаных породах, имеющих невысокую влажность, значительная часть энергии волн напряжений взрыва расходуется на закрытие пор и пластические деформации в ближней зоне заряда. При повышении влажности прочностные свойства породы растут, соответственно увеличивается средний диаметр куска. При влажности песка, соответствующей полной влагоемкости, происходит перераспределение энергии взрыва. Возрастающее участие в разрушении волн напряжений приводит к снижению $d_{\text{ср}}$, т.е. улучшает качество дробления.

Иная картина наблюдается при взрывании мерзлой глинистой породы. Результаты дробления образцов мерзлого суглинка в зависимости от изменения температуры ([рис.16](#)) показывают, что средний диаметр куска уменьшается при понижении температуры. Наиболее значительное снижение среднего диаметра куска происходит при температуре минус 5-7 $^\circ\text{C}$. При дальнейшем понижении температуры средний диаметр

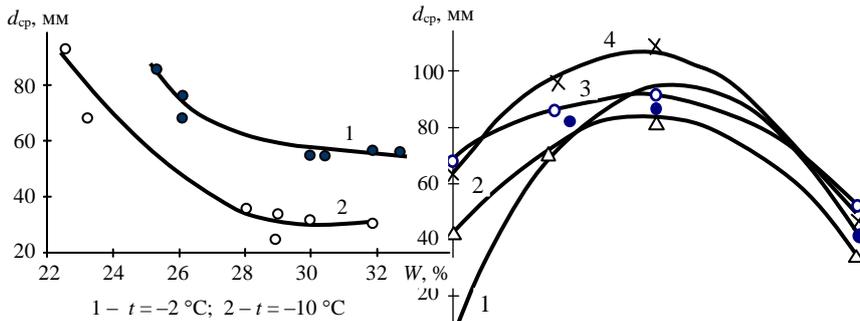


Рис.15. Качество дробления взрывом мерзлого песка

Рис.17. Качество дробления взрывом образцов мерзлого суглинка в зависимости от влажности по массе

куска изменяется в меньшей степени. С понижением температуры d_{cp} изменяется по закону, близкому к логарифмическому.

Как известно, изменение прочностных характеристик мерзлых глинистых пород происходит в более широком диапазоне температур, чем в песчаных. Наиболее интенсивное изменение содержания незамерзшей воды в глинистых породах происходит при температурах от $-1,5$ до -7 °C. При дальнейшем понижении температуры фазовые переходы воды незначительны.

Графики зависимости от температуры содержания незамерзшей воды в мерзлых глинистых породах и среднего диаметра куска при взрывании образцов качественно похожи, что позволяет считать льдистость основным фактором, определяющим сопротивление мерзлой глинистой породы разрушению взрывом. На

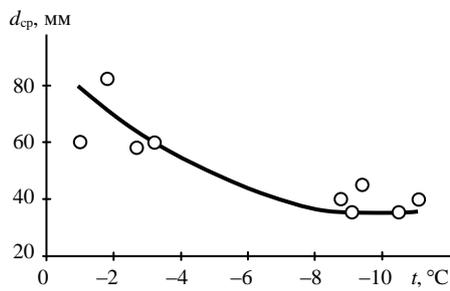


Рис.16. Качество дробления взрывом образцов мерзлого суглинка в зависимости от температуры

графиках зависимостей среднего диаметра куска (рис.17) мерзлого суглинка от влажности при различной температуре видно, что качество дробления суглинка резко отличается от качества дробления мерзлой песчаной породы: с повышением влажности средний диаметр куска суглинка уменьшается.

При анализе влияния влажности и температуры на качество дробления мерзлой глинистой породы получена корреляционная зависимость ($\bar{r} = 0,9$):

$$d_{cp} = -0,32t - 0,45W + 20,45, \quad (34)$$

где t – абсолютное значение отрицательной температуры, °С; W – влажность по массе, %.

Кроме того, необходимо ввести комплексный показатель, учитывающий влияние влажности и температуры на степень дробления мерзлой породы взрывом, а также относительную льдистость глинистого грунта:

$$i = (W - W_n) / W, \quad (35)$$

где W_n – влажность, обусловленная наличием незамерзшей воды, %.

С учетом формулы (35) зависимость (34) преобразуется к виду ($\bar{r} = 0,92$):

$$d_{cp} = -0,32i + 26,18.$$

Результаты лабораторных экспериментов были подтверждены серией взрывов скважинных зарядов в мерзлых песчаных и супесчаных породах. В качестве критерия оценки качества дробления принимался средний диаметр куска.

В результате получена зависимость для определения удельного расхода ВВ:

$$q_n = q + k \exp(0,0845 W - 0,000065 W^3),$$

где q – показатель, учитывающий удельный расход ВВ, необходимый на преодоление сил сцепления и массы при взрывании сухого песка, $q = 0,15 \text{ кг/м}^3$; k – коэффициент, для песков и супесей $k = 0,291714$; W – относительная влажность мерзлого песка.

Для взрывания мерзлых песчаных пород при температуре ниже 0 °С и различной влажности расчетный удельный расход ВВ следующий:

W, %	20	40	60	80	100
q_m , кг/м ³	0,27	0,45	0,54	0,6	0,36

Мерзлые песчаные породы, имеющие влажность до 0,5 от полной влагоемкости, обладают меньшей сопротивляемостью разрушению взрывом и дробятся более равномерно. С повышением влажности от 0,5-0,8 до полной влагоемкости качество дробления снижается, средний диаметр куска возрастает. При влажности мерзлых песчаных пород, близкой к полной их влагоемкости, качество дробления увеличивается.

По результатам опытных взрывов в мерзлых глинистых породах получена зависимость удельного расхода ВВ от температуры ($\bar{r} = 0,84$):

$$q_r = -31gt + 3,32,$$

где q_r – удельный расход ВВ, кг/м³; t – абсолютное значение отрицательной температуры мерзлой глины, °С.

Анализ зависимости показывает, что с понижением температуры удельный расход ВВ на дробление снижается. Для взрывания мерзлых глинистых пород при различных температурах промерзания удельный расход ВВ следующий:

t , °С	-1	-3	-5	-7	-9	-10
q_r , кг/м ³	1,1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6

В производственных условиях определяли показатель простреливаемости мерзлых песчаных и глинистых пород. Установлено, что для мерзлых пород с одинаковыми гранулометрическим составом и влажностью с понижением температуры уменьшается показатель простреливаемости. Полученные усредненные значения показателя простреливаемости

приведены в классификации в качестве одного из параметров, характеризующих взрываемость мерзлых пород.

При проведении экспериментальных исследований определяли скорость продольной волны в мерзлых породах (табл.7). Установлено, что с повышением льдистости возрастают скорость распространения волн напряжений и акустическая жесткость мерзлых пород.

В классификации многолетнемерзлые и сезонно-мерзлые породы (табл.6) включены в одни и те же группы по взрываемости, в которых влажность и температура являются основными показателями.

Таблица 7

Основные характеристики мерзлых пород

Породы	Плотность*, (кг/м ³)·10 ⁻³	Влажность по массе*, %	Относительная льдистость при температуре (°C), %			Скорость продольной волны при взрыве, м/с
			-1	-5	-10	
Песчаные	1,9-2,1	10-25	0,97	0,98	0,99	800-4100
Супеси	1,65-1,9	15-30	0,53	0,65	0,73	750-3700
Суглинки	1,5-1,8	25-40	0,43	0,58	0,60	900-3400
Глинистые	1,4-1,7	30-60	0,10	0,35	0,43	1100-3600

* Наиболее вероятные значения в естественных условиях.

Многолетнемерзлые породы имеют определенную сопротивляемость разрушению взрывом, практически постоянную влажность и температуру по всей толще, за исключением верхней части, называемой деятельным слоем.

В зависимости от климатических условий мощность деятельного слоя изменяется от 1,5 до 3 м. Температура пород деятельного слоя меняется в течение всего года. При положительных температурах наружного воздуха поверхностный слой породы начинает оттаивать. В результате теплопередачи происходит постепенное оттаивание нижележащих пород. При отрицательных температурах воздуха происходит обратный процесс – замерзание. Процесс замерзания происходит одновременно: от

поверхности в глубь массива и снизу вверх за счет выравнивания градиента температуры.

Сезонное промерзание пород происходит только сверху вниз, а глубина его зависит от температуры наружного воздуха, длительности периода промерзания, наличия снежного покрова, скорости ветра, рельефа местности. На территории России глубина сезонного промерзания составляет до 3 м. При положительных температурах воздуха верхний слой породы начинает оттаивать, градиент температур постепенно выравнивается. В то же время из-за наличия талого подстилающего слоя породы происходит оттаивание мерзлого слоя снизу вверх.

Классификация составлена для взрывания многолетнемерзлых и сезонно-мерзлых пород (при глубине промерзания более 1 м).

Для отнесения мерзлых пород к той или иной группе необходимо установить вид пород. Эти сведения обычно имеются в технической документации. Глубину промерзания определяют пробным бурением или принимают по данным многолетних наблюдений. В пробуренных скважинах замеряют температуру породы. Измерение температуры можно производить с помощью термометров ТЛ-4 или датчиков термосопротивлений. Для определения влажности пород при бурении скважин отбирают пробы породы и производят взвешивание. После высушивания при температуре 105 °С до постоянной массы производят вторичное взвешивание и расчетным путем определяют влажность. Определив вид породы, измерив ее температуру и влажность, определяют группу пород по взрываемости и выбирают удельный расход ВВ.

5. ТЕХНОЛОГИЯ РЫХЛЕНИЯ СЕЗОННО-МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ВЗРЫВОМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТРАНШЕЙ

Рыхление мерзлых грунтов взрывным способом применяют, как правило, при глубине промерзания H_m , превышающей 0,5 м. При меньшем значении H_m рыхление производят в основном механическим способом. Без предварительного рыхления сезонно-мерзлые грунты можно разрабатывать экскаваторами, оборудованными прямой лопатой вместимостью 0,5-1 м³, при

$H_m = 0,15 \div 0,25$ м, а оборудованными драглайном с той же вместимостью ковша – при $H_m \leq 0,1$ м.

При расчете параметров взрывных работ необходимо учитывать характеристики используемой впоследствии землеройной техники, чтобы обеспечить минимальный выход негабаритных кусков взорванного грунта. Негабаритными считаются куски, наибольший поперечный размер которых превышает:

- для экскаваторов типа драглайн – 1/2 ширины ковша;
- для экскаваторов с прямой и обратной лопатой – 2/3 ширины ковша;
- для скреперов – 2/3 наибольшей конструктивной глубины копания;
- для бульдозеров и грейдеров – 1/2 высоты отвала.

Рыхление сезонно-мерзлых грунтов ведут шпуровыми, скважинными, щелевыми, иногда котловыми зарядами ВВ. Выбор конструкции заряда чаще всего определяется наличием оборудования для создания зарядных полостей – бурового или щелерезного. Кроме того, применение щелевых зарядов ограничивается техническими возможностями машин по глубине нарезаемых щелей.

5.1. РЫХЛЕНИЕ СЕЗОННО-МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ШПУРОВЫМИ И СКВАЖИННЫМИ ЗАРЯДАМИ

Для рыхления сезонно-мерзлых грунтов в зависимости от горно-геологических и горно-технических условий применяют шпуровые и скважинные заряды. При мощности слоя мерзлоты до 1,5 м заряды размещают в шпурах, при большей мощности – в скважинах.

Шпуровые заряды размещают в цилиндрических зарядных полостях (шпурах) диаметром до 75 мм при глубине до 5 м.

Скважинные заряды размещают в цилиндрических зарядных полостях (скважинах) диаметром более 75 мм при глубине до 5 м или любого диаметра при глубине более 5 м.

Рациональный диаметр заряда (в миллиметрах)

$$d = 50W\sqrt{q_m / \Delta},$$

где W – мощность взрываемого слоя мерзлоты, м; q_m – расчетный удельный расход ВВ, кг/м³; Δ – плотность заряжения, кг/дм³.

Значения q_m при взрывании мерзлых грунтов следующие:

Мерзлая глина и строительный мусор	0,7 – 0,9
Моренный суглинок с глиной	0,6 – 0,7
Песчаные и растительные грунты	0,4 – 0,6

В зависимости от температуры грунтов, категории льдистости и показателя простреливаемости значения K_m следует принимать по классификации Межведомственной комиссии по взрывному делу (см. табл.6).

Порядок расчета шпуровых и скважинных зарядов рыхления не имеет принципиальных различий. Проектируемые параметры взрывных работ должны при минимальных затратах обеспечить качественное рыхление мерзлого грунта и безопасность для близко расположенных объектов и техники. Объем рыхления взрывом определяют в плотном теле в пределах проектных очертаний объекта с разделением по группам крепости по простиранию и глубине промерзания H_m .

В тех случаях, когда рыхлят весь слой сезонно-мерзлых грунтов, глубина скважины (в метрах)

$$l_c = (0,8 \div 0,9)H_m. \quad (36)$$

Некоторый недобур необходим, чтобы при изменяющейся на объекте глубине промерзания, контроль которой ведут практически только по силовому режиму бурового станка, нижняя часть заряда ВВ не попадала в подстилающий талый грунт.

Если рыхлят только часть слоя сезонно-мерзлых грунтов, что возможно при больших глубинах промерзания, то глубина скважины (в метрах)

$$l_c = (1 \div 1,2)H. \quad (37)$$

В формулах (36) и (37) нижние пределы соответствуют твердо-мерзлым глинистым и песчаным грунтам, верхние – пластично-мерзлым глинистым.

Следует обратить внимание на тот факт, что часто употребляемый в технической литературе термин «линия наименьшего сопротивления» при взрывании скважинных зарядов с одной обнаженной поверхностью в сезонно-мерзлых грунтах приобретает чисто символическое звучание, так как был введен для расчета параметров взрывных работ при уступной отбойке пород, где он нес вполне конкретную физическую и геометрическую смысловую нагрузку. С точки зрения физики процесса, меньшее сопротивление разрушению скважинным зарядом может оказывать нижняя часть слоя сезонно-мерзлых грунтов, а не верхняя. С геометрической точки зрения, линией наименьшего сопротивления является расстояние между свободной поверхностью и верхней частью скважинного заряда, т.е. по существу длина забойки. Поэтому в дальнейшем этот термин будет применяться только при рассмотрении сосредоточенных (котловых) и целевых зарядов ВВ.

Очень важным параметром является диаметр шпура или скважины, который определяет продолжительность бурения и вместимость получаемой зарядной полости p , а следовательно, и форму заряда – будет ли он ближе к цилиндрической или сферической симметрии:

$$d_c = (0,05 \div 0,07)H_m. \quad (38)$$

Расстояние между зарядами в ряду (в метрах) при мгновенном взрывании

$$a = (0,8 \div 1,4)H_m, \quad (39)$$

при короткозамедленном взрывании (КЗВ)

$$a = (1,2 \div 1,8)H_m. \quad (40)$$

Расстояние (в метрах) между рядами зарядов при мгновенном взрывании

$$b = (0,8 \div 1)H_m, \quad (41)$$

при КЗВ

$$b = (1 \div 1,4)H_m.$$

Нижние пределы в формулах (40) и (41) соответствуют трудновзрываемым пластично-мерзлым грунтам, верхние – легко взрываемым песчаным и твердо-мерзлым глинистым.

Длина шпурового или скважинного заряда устанавливается с учетом обеспечения необходимого качества забойки, которое выполняется при длине забойки не меньше $0,3l_c$. Исследованиями установлено, что с увеличением длины заряда растут массовые скорости, следовательно, должно улучшаться качество дробления. Однако это имеет место лишь при возрастании $l_{заб}$ до 0,3 м, после чего интенсивность и рост объема дробления замедляются. Для качественного дробления сезонно-мерзлых грунтов необходимо, чтобы шпур или скважина заполнялись забойкой до устья или, в крайнем случае, не менее чем на 0,3 м. Следовательно, длина заряда

$$l_{зар} \leq 7l_c ; \quad (42)$$

длина забойки

$$l_{заб} = 0,3l_c .$$

Объем рыхления (в кубических метрах) определяется шириной объекта, его длиной и глубиной промерзания: $V = BLH_m$

Общая масса требуемого для рыхления заряда ВВ (в килограммах) рассчитывается по объему разрыхляемого грунта и расходу ВВ:

$$Q = eqV , \quad (43)$$

где e – коэффициент работоспособности ВВ.

Удельный расход ВВ принимают по классификации мерзлых грунтов по взрываемости (см. табл.6).

На практике при малых объемах взрывных работ удельный расход ВВ при рыхлении сезонно-мерзлых грунтов следующий:

Грунты	q , кг/м ³
Тяжелые плотные пластично-мерзлые глины и суглинки	0,9-1,2
Строительный мусор с грунтом	0,7-0,9
Плотные суглинки и супеси	0,6-0,8
Легкие суглинки и пылеватые грунты	0,4-0,6
Легкие твердо-мерзлые супеси и песок, льдистые	0,3-0,4

Масса одиночного шпурового (скважинного) заряда рыхления

$$Q_c = 0,7 p l_c, \quad (44)$$

где p – вместимость 1 м шпура (скважины), кг/м.

После этого необходимо проверить, войдет ли требуемое количество ВВ, определенное по формуле (43), в скважины установленного по формуле (38) диаметра. Для этого определяют число шпуров (скважин) в ряду $n_c = L/a$ и число рядов при многорядном взрывании $n_p = B/b$, а также их общее число $n_0 = n_c n_p$.

Общая масса (в килограммах) шпуровых (скважинных) зарядов рыхления

$$Q_0 = Q_c n_0. \quad (45)$$

Требуемое для качественного рыхления количество ВВ будет уложено в скважины, если масса ВВ, определенная по формуле (43), будет меньше или равна рассчитанной по зависимости (45).

Если условие не выполняется, то необходимо перейти на больший диаметр шпуров (скважин) или применить котловые заряды. При расчете схемы рыхления сезонно-мерзлых грунтов многорядным мгновенным взрыванием следует переходить на короткозамедленное взрывание, тогда диаметр зарядной полости может быть оставлен прежним. Возможен также переход на «куст» из двух или трех скважин.

Для снижения удельного расхода ВВ и объема буровых работ применяют КЗВ и рассредоточение заряда по скважине. В этом случае 60-70 % массы ВВ размещают в нижней, трудновзрываемой части скважин или применяют котловые заряды. При расчете схемы рыхления сезонно-мерзлых грунтов верхнюю

часть отделяют от нижней инертным или воздушным промежутком. При определении места расположения зарядов и промежутка следует учитывать изменение взрываемости мерзлого грунта по глубине в течение зимнего периода.

Бóльшие значения промежутка принимают для глинистых и суглинистых сезонно-мерзлых грунтов, меньшие – для песчаных и супесчаных. Применение КЗВ позволяет регулировать направление и форму развала грунта, улучшает его дробление вследствие соударения кусков и увеличения времени воздействия продуктов детонации на массив при правильно подобранном интервале замедления.

Большое распространение при рыхлении сезонно-мерзлых грунтов методом КЗВ нашли пиротехнические детонационные реле двустороннего действия РП-8. Длительность замедления взрыва составляет 10 ± 4 ; 20 ± 6 ; 35 ± 7 и 50 ± 7 мс. Применяют реле при монтаже взрывной сети с использованием детонирующего шнура.

При рыхлении сезонно-мерзлых грунтов в стесненных условиях и наличии расположенных вблизи производственных или бытовых зданий, подземных коммуникаций используют экранирующие щели, нарезаемые буровой машиной на всю глубину промерзания, или защитные полосы из грунта, разрыхленного короткозамедленным взрыванием мелких зарядов.

Рыхление сезонно-мерзлых грунтов в траншеях шириной по верху менее 1,5 м ведут одним рядом шпуровых (скважинных) зарядов с поскважинным замедлением или через одну скважину. При более широких траншеях применяют два, три и большее число рядов зарядов.

При площадном рыхлении сезонно-мерзлых грунтов обычно используют порядное расположение скважин (шпуров), заряды в которых инициируются при КЗВ по клиновой схеме или одной из ее модификаций, обеспечивающих минимальный разлет грунта в сторону охраняемых наземных зданий. Инициирование шпуровых или скважинных зарядов ведется с помощью детонирующего шнура, что значительно повышает надежность и безопасность производства взрывных работ.

При рыхлении сезонно-мерзлых грунтов в пределах населенных пунктов или промышленных предприятий возникает

опасность срабатывания электродетонаторов (ЭД) от токов наводки или блуждающих токов, статического электричества, поэтому в этих условиях целесообразно применять при КЗВ электродетонаторы ЭД-1-3-Т, отличающиеся от всех ЭД более высокими защитными свойствами. При рыхлении с использованием укрытий хорошо зарекомендовали себя высоковольтные ЭД с взрывающимся мостиком. Для их воспламенения через мостик необходимо пропустить разряд конденсатора относительно небольшой емкости, заряженного до высокого напряжения. По техническим условиям для взрывания высоковольтных электродетонаторов ЭДВ-1 и ЭДВ-2 следует пропустить разряд конденсатора емкостью 1 мкФ, заряженного до напряжения 20 кВ. При этом кабель, соединяющий конденсатор с ЭД, должен иметь длину не более 20 м.

Благодаря возможности воспламенения только от конденсатора, заряженного до высокого напряжения, а также отсутствию воспламенительной головки и первичного заряда, высоковольтные ЭД безопасны в обращении и нечувствительны к блуждающим токам и зарядам статического электричества.

5.2. РЫХЛЕНИЕ ГРУНТОВ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ЩЕЛЕВЫМИ ЗАРЯДАМИ

Технология рыхления сезонно-мерзлых грунтов щелевыми зарядами заключается в том, что заряд ВВ располагают в горизонтальной зарядной полости, получаемой при помощи щелерезной машины. И.Л.Балбачан предложил использовать, наряду с заряжаемыми щелями, незаряжаемые (компенсирующие). Щелевзрывной способ рыхления сезонно-мерзлых грунтов целесообразно применять при площадном рыхлении для разработки котлованов, но особенно эффективен он при рыхлении грунта в профильных выемках различного технологического назначения – траншеях под магистральные трубопроводы, инженерных коммуникаций, мелиоративных каналов и т.д.

Сущность метода заключается в том, что в результате взрыва мерзлый грунт, расположенный между зарядной и компенсирующей щелями, дробится с одновременным смещением в сторону

дополнительной обнаженной поверхности, образованной компенсирующей щелью. При правильном выборе расстояния между этими щелями и массы заряда ВВ может быть получена траншея с вертикальными стенками.

Наиболее распространенными являются технологии с использованием одной зарядной и в зависимости от ширины траншеи одной или двух компенсирующих щелей. При ширине траншеи до 1,3 м рекомендуется применять двухщелевую схему (рис.18, а).

При ширине траншеи более 1,3 м применяют трехщелевую схему с расположением заряда ВВ в центральной щели (рис.18, б).

Глубина нарезаемых щелей

$$H_{щ} = (0,85 \div 0,9)H_M,$$

где H_M – глубина промерзания, м.

Меньшая глубина соответствует легко взрываемым сезонно-мерзлым грунтам.

Общий расход ВВ, необходимый для рыхления заданного

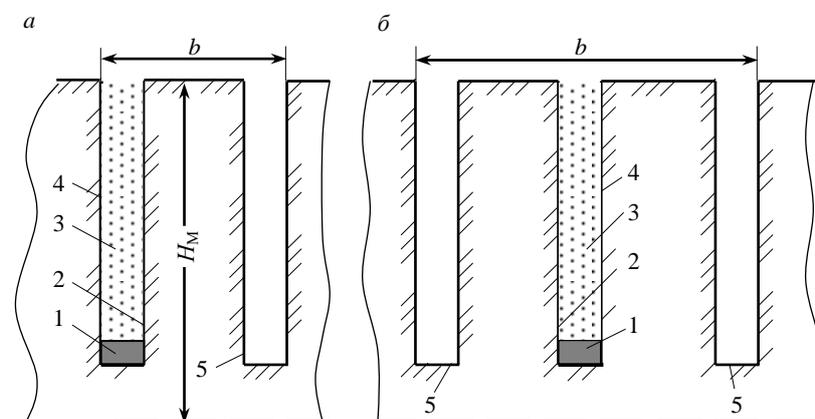


Рис.18. Схема рыхления сезонно-мерзлых грунтов щелевыми зарядами при двух (а) и трех (б) щелях

1 – заряд ВВ; 2 – детонирующий шнур; 3 – забойка; 4 – зарядная щель;
5 – компенсирующая щель

объема мерзлого грунта,

$$Q = q(V - V_{\text{щ}}),$$

где q – удельный расход ВВ, кг/м³; $V_{\text{щ}}$ – объем грунта в щелях, м³.

Ширина щелей определяется шириной рабочего органа щелерезной машины. Оптимальной считается ширина щелей 0,1-0,3 м.

Расстояние между зарядной и компенсирующей щелями

$$b = (0,9 \div 1,3)H_{\text{щ}}.$$

Масса заряда на 1 м щели

$$Q = Q/l_{\text{щ}}.$$

Если поперечное сечение расчетного сплошного щелевого заряда не обеспечивает устойчивой детонации и необходимой степени рыхления грунта, то заряд рассредоточивают. Расстояние между рассредоточенными зарядами в щели

$$a = (0,9 \div 1,4)H_{\text{м}}.$$

При рыхлении ширина щели определяется шириной рабочего органа щелерезной машины. Оптимальной считается ширина щелей 0,1-0,3 м. В котлованах щели нарезают через равные промежутки по всему котловану перпендикулярно к охраняемому объекту. В случае необходимости нарезают оконтуривающие щели. Укладку зарядов ВВ ведут в шахматном порядке относительно зарядов в соседних щелях, в сторону которых происходит сдвиг мерзлого грунта. Взрывание зарядов в ряду мгновенное с замедлением по рядам. Интервал замедления 20-30 мс. Расстояние между щелями при КЗВ

$$b = (1,3 \div 2,2)H_{\text{щ}}.$$

При глубине щелей более 1,5 м укладывают два сплошных или рассредоточенных заряда ВВ через прослойку забоечного материала с расстоянием между ними по высоте 0,3-0,5 м (двойное рассредоточение по длине заряда и высоте щели).

Лучшие показатели достигаются при рассредоточенном верхнем заряде массой 0,3 кг и сплошном нижнем.

Удельный расход ВВ, гарантирующий заданный размер наибольшего куска мерзлого грунта,

$$q = B_1 \frac{H_{\text{щ}}^2}{X_{\text{max}}^3} f(m),$$

где B_1 – коэффициент пропорциональности (0,004 для мерзлых песков; 0,006 для супесей; 0,008 для суглинков; 0,01 для глин); X_{max} – размер наибольшего куска, м; m – коэффициент сближения щелей, $m = B / H_{\text{щ}}$; $f(m)$ – функция коэффициента сближения щелей.

Функции коэффициента сближения щелей следующие:

m	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$f(m)$	4,1	3,4	3,2	3,1	3,2	3,4
m	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,1
$f(m)$	3,6	4	4,2	4,9	5,3	6,1

Размер наибольшего куска определяется шириной ковша экскаватора:

$$X_{\text{max}} = \frac{2}{3} C_k,$$

где C_k – ширина ковша экскаватора, м.

Щелевзрывной способ по сравнению с рыхлением сезонно-мерзлых грунтов шпуровыми или скважинными зарядами дает возможность сокращения ручного труда при зарядании и забойке. Получаемые траншеи имеют вертикальные стенки, снижаются разлет грунта и сейсмическое действие взрыва.

6. БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТРАНШЕЙ

6.1. ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ОПАСНОЙ ЗОНЕ, ОТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОСКОЛКАМИ

Эффективными методами уменьшения дальности разлета осколков является применение зарядов рыхления с минимально возможным удельным расходом ВВ, достаточной высококачественной забойки шпуров и скважин, гидровзрывания, различного рода укрытий. Применение одного метода защиты объектов не исключает использования другого. Укрывать можно как разрушаемый объект с целью ограничения зоны разлета осколков, так и защищаемый.

Очень часто рыхление сезонно-мерзлых грунтов производят непосредственно вблизи жилых и промышленных зданий и сооружений, линий электропередачи, транспортных сетей и коммуникаций, когда рыхление не может обеспечить безопасности этих объектов от разлетающихся осколков грунта и воздушной ударной волны. В этом случае наиболее эффективным средством является укрытие, названное локализатором взрыва. Различают два типа локализаторов взрыва:

- газонепроницаемые, изготавливаемые из металлических листов, бревенчатых матов, мешков с песком и т.д.;
- газопроницаемые, жесткие (решетки, рамы с панцирными сетками и т.д.) и эластичные (маты из якорных цепей и стальных колец).

По конструкции локализаторы разделяют на щитовые, арочные, коробчатые, сетчатые и комбинированные. Газопроницаемые укрытия находят более широкое применение, так как позволяют значительно снизить их массу на единицу площади, а благодаря своей эластичности увеличить срок годности. Для персонала, связанного со взрывными работами, применяют в качестве укрытий передвижные блиндажи с деревянными или железобетонными перекрытиями. Блиндажи устанавливают на определенном расстоянии от места взрыва, гарантирующем людям безопасность от поражения воздушной ударной волной.

Масса локализатора

$$M_y \geq K_n Q^2 / l_{заб} l_c^2,$$

где K_n – эмпирический коэффициент, зависящий от соотношения площадей укрываемой поверхности разрушаемого массива и локализатора, а также массы заряда ВВ (при $Q \geq 7$ кг $K_n = 1,1$, при $Q < 7$ кг $K_n = 7/Q$); Q – масса одновременно взрывающегося под локализатором заряда, кг.

При использовании в качестве локализатора взрыва сплошных жестких укрытий из стальных листов и матов из якорных цепей массу укрытия определяют по формулам, предложенным ФА.Авдеевым и В.Л.Бароном:

$$P_y = \alpha H_m \rho N_q^{1/3},$$

где α – коэффициент, для жестких укрытий $\alpha = 1$, для укрытий из якорных цепей $\alpha = 0,22$; H_m – мощность разрыхляемого слоя сезонно-мерзлых грунтов, м; ρ – плотность грунта, кг/м³; H_q – безразмерный коэффициент относительной массы заряда,

$$H_q = Q_n / (q_v H_m^3),$$

где Q_n – расчетный заряд нормального выброса, кг; q_v – удельный расход ВВ на выброс, кг/м³.

Масса плоских укрытий из деревянных или металлических щитов при воздушном промежутке между укрытиями и поверхностью взрывающегося объекта

$$P = \frac{2Q}{l_c L(R + 1,6)},$$

где Q – общая масса взрывающихся под укрытием зарядов ВВ, кг; L – величина воздушного промежутка, м; R – заданный радиус разлета грунта, м.

Укрытия из металлических листов (рис.19). Для их устройства применяют стальной лист толщиной от 4-5 до 20-30 мм. Могут использоваться различные отходы листового железа: металлическая обшивка судов, футеровка и т.д.

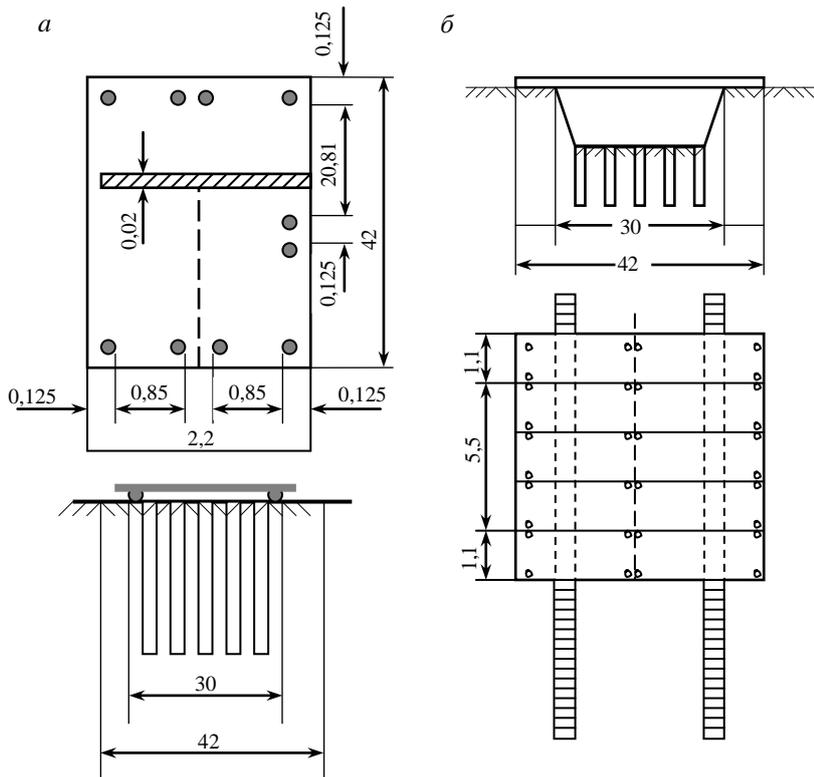


Рис.19. Схема укрытий из стальных листов при взрывании зарядов: *a* – на поверхности; *б* – в траншее; все размеры даны в метрах

Из листового железа изготовляют маты, удобные для укладки на заряды, массой, не превышающей грузоподъемность автокрана, с помощью которого возводят укрытия. Обычные размеры матов $1,5 \times 2,5$; $2,0 \times 4,5$ м и более, масса 1,7-3,0 т.

При толщине листа 20-30 мм маты изготовляются однослойными, тонкие листы укладываются в пачки из 5-8 слоев и скрепляются болтами. При этом маты из пачек тонких листов более долговечны, так как эластичность таких матов под действием взрывов делает их более стойкими против разрушения. До полного износа эти

маты выдерживают 90-100 взрывов, тогда как жесткие толстолистые маты – 50-60.

После заряжания выработок и монтажа взрывной сети металлические маты укладываются на бревенчатые или другие подкладки толщиной 25-30 см. Количество укладываемых друг на друга матов зависит от требуемой массы укрытия на единицу площади и определяется расчетом, приведенным выше.

Для уменьшения расхода металлических матов можно создать расчетную массу укрытий с помощью пригрузки. Для этой цели на металлические маты укладывают фундаментные блоки и другие прочные и тяжелые предметы в необходимом количестве.

Кроме бревен, в качестве подкладок используются специально изготовленные деревянные переносные ряжи. В этом случае свободное пространство под укрытием может достигнуть 1-1,2 м. При такой высоте свободного пространства под укрытием можно производить заряжание, что позволяет сократить время взрывного цикла и повысить безопасность для окружающих людей на период заряжания. Это особенно важно при производстве взрывных работ в населенных пунктах и в стесненных условиях.

Иногда применяют металлические укрытия, выполненные в виде различных передвижных шатров, ящиков и бронированных колпаков, закрепленных на полозьях. Однако такие укрытия чрезвычайно тяжелы и громоздки, устанавливать их над зарядами трудно, а на строительных площадках часто и невозможно. Кроме того, обеспечить достаточную прочность таких устройств очень сложно.

Укрытия из бревенчатых матов (рис.20). Для изготовления матов размером $1 \times 4,5$ или $1,2 \times 5$ м можно использовать бревна диаметром 20-25 см, которые скрепляются арматурной сталью или тросом толщиной 15-20 мм в виде поперечной оплетки или прошивки. Срок службы деревянных матов в 2-2,5 раза меньше, чем металлических. Его можно увеличить с помощью амортизирующего приспособления в виде набивки на маты списанных автопокрышек, воспринимающих удар взрыва и тем самым предохраняющих маты от преждевременного

разрушения. Маты с таким приспособлением выдерживают до 50 взрывов.

Организация взрывных работ с применением деревянных бревенчатых укрытий ничем не отличается от организации работ с металлическими укрытиями.

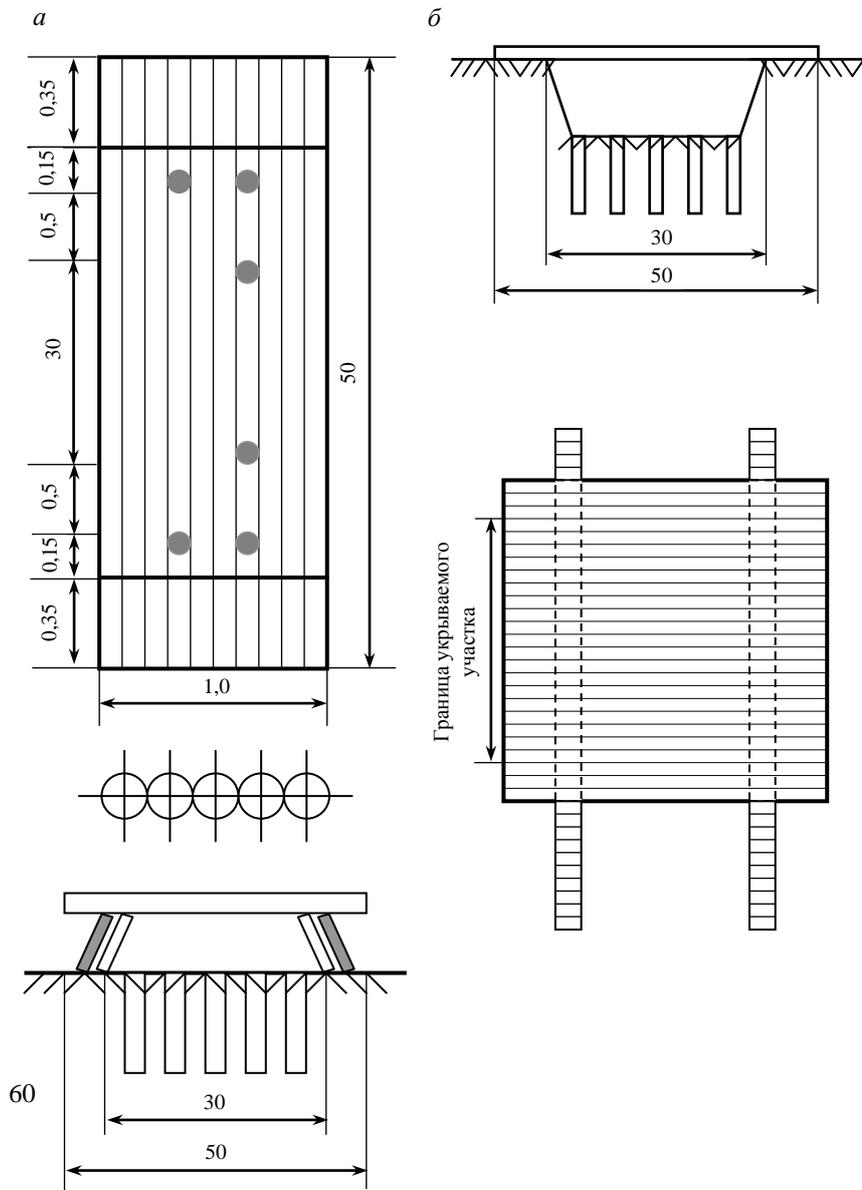


Рис.20. Схема укрытий из бревенчатых матов при взрывании зарядов: *a* – на поверхности; *б* – в траншее; все размеры даны в метрах

Укрытия из мешков с песком. В производственных условиях такой вид укрытий применяют редко, так как это связано с большими затратами ручного труда по заполнению мешков песком и укладке их на заряды. Во время взрыва песок смешивается с породой, увеличивая объем уборки и вывозки грунта, особенно в тех случаях, когда мощность взрываемого слоя мала, например, при рыхлении грунтов в населенных пунктах.

Укрытия взрывной сети из детонирующего шнура чаще всего выполняют с помощью песка. Толщина слоя песка, достаточная для предотвращения воздействия воздушной ударной волны, обычно не превышает 7-10 см.

Укрытия из войлочных матов. Этот вид легких сплошных укрытий применяют при взрывании мелких зарядов, располагаемых в малодоступных местах или на большой высоте (верхняя часть дымовых труб и др.), т.е. в тех случаях, когда более тяжелые виды укрытий невозможно применить из-за особых производственных условий.

Защита отдельных агрегатов и производственного оборудования. Трансформаторные киоски, линейные узлы связи, насосы, двигатели и другое малогабаритное оборудование и агрегаты от возможного разлета породы защищаются постоянными прочными надстройками из накатника или бревен.

В целях сокращения вынужденных простоев, связанных с отгонкой от места взрыва экскаваторов, их оборудуют подвесными укрытиями из накатника, закрепляемыми на задней стенке. Крыша машины также укрывается накатником.

Если экскаватор имеет защитные устройства, перед взрывом его отгоняют от забоя не на 100-120 м, а на 10-30 м (в зависимости от высоты уступа), затем разворачивают укрытой задней частью в сторону взрыва.

Подвесными укрытиями можно снабдить буровые станки и другое горное оборудование.

Перед взрывом эти укрытия поднимают с помощью лебедки и закрепляют со стороны взрыва на том или ином агрегате.

Прерывистые (проницаемые) укрытия. Прерывистые укрытия до недавнего времени применялись только в жестком исполнении. Они представляют собой различные приспособления в виде решеток, рам с панцирными сетками или жалюзи и т.д. Все они малоэффективны, и потому область их применения ограничена.

Большой практический интерес представляют прерывистые эластичные укрытия, которые выполнены в виде матов, изготовленных из якорных цепей, скрепленных между собой железными кольцами. Наиболее удобные размеры цепей, применяемых для этой цели, указаны в [табл.8](#).

Таблица 8

Спецификация якорных цепей, применяемых для изготовления укрытий при взрывных работах

Диаметр цепного железа, мм	Длина завесы, мм	Ширина завесы, мм	Масса цепи	
			кг/м	кг/м ²
26	143	91	14,9	164
28	154	98	17,2	176
30	164	105	19,8	188
34	187	119	21,8	206
36	192	126	28,5	226

Примечание. Масса цепей с контрфорсами на 5-10 % превышает массу цепей без контрфорсов.

Маты размерами 2,5 × 3,5 м укладывают с помощью автокранов или растаскивают трактором ДТ-54 по площади, подлежащей взрыванию. Цепные укрытия удобны тем, что их можно укладывать на площадь заранее. Бурение шпуров и скважин,

а также зарядание можно производить через отверстия в матах, что значительно сокращает время на взрывные работы.

Эластичные прерывистые маты могут быть изготовлены из других элементов, например из прочных стальных колец, дисков и т.д.

Срок службы матов из якорных цепей значительно больше, чем сплошных металлических. До полного износа они могут выдержать 500 и более взрывов, так как износ их зависит не от взрывных нагрузок, а только от истирания грунтом и от коррозии звеньев цепи. Взрывные нагрузки элементы цепи переносят без деформаций вследствие эластичных свойств мата.

Стоимость буровзрывных работ с укрытиями такого типа в 2-3 раза ниже, чем с применением других укрытий.

6.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ВБЛИЗИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ФАКТОРУ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН

Разработка траншей взрывом вблизи действующих трубопроводов в зимнее время связана с определенными сложностями, поскольку расстояние между строящимися и действующими трубопроводами составляет от 5 до 32 м, давление достигает 5,5-7,5 МПа. Магистральные трубопроводы сооружаются в пределах отводимой строительной полосы. Поэтому необходимость правильного выбора методов расчета массы и расстояний, сейсмически безопасных для действующего трубопровода, весьма актуальна.

Задачей расчета параметров взрывных работ в таких случаях является определение массы сейсмически безопасного заряда $Q_{с.б}$ при заданном расстоянии от заряда до действующего трубопровода R , а также сейсмически безопасного расстояния $R_{с.б}$ при заданной массе заряда, взрываемого мгновенно (рис.21). Расчет считается правильным, если выполняется условие $R > 2l_c$ или $R_{с.б} > 2l_c$.

Расстояние до действующего трубопровода

$$R = R_m - \frac{D + b(n-1)}{2},$$

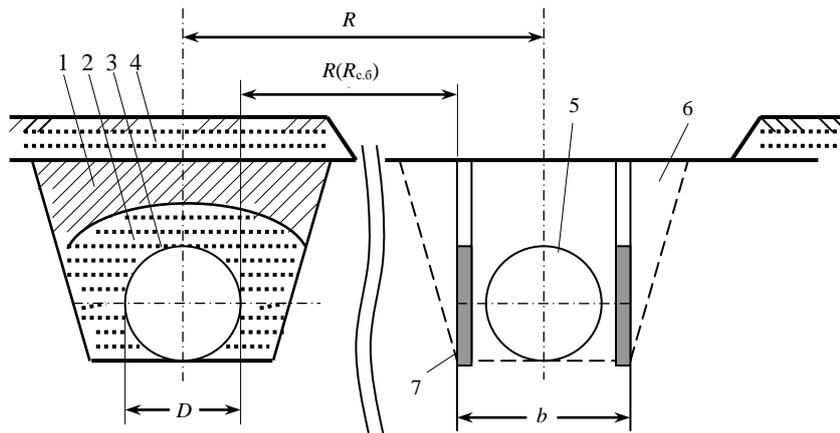


Рис.21. Схема расположения зарядов при сооружении траншей вблизи действующего трубопровода при рыхлении мерзлого грунта

1 – скальный грунт засыпи; 2 – мягкий грунт; 3 – действующий трубопровод; 4 – слой плодородной земли; 5 – проектируемый или строящийся трубопровод; 6 – рыхленный грунт 7 – скважинный заряд

где R_m – расстояние между осями действующего и строящегося трубопровода (указывается в технологическом проекте), м; D – наружный диаметр действующего трубопровода, м; b – расстояние между рядами зарядов, м; n – число рядов.

Сейсмически безопасная масса заряда

$$Q_{с.б} = \frac{k_r R^3 (\delta_1 - \delta_{вр})}{35000},$$

где k_r – коэффициент, принимаемый в зависимости от разновидности мерзлого грунта (табл.9); R – заданное расстояние (расстояние между стенкой газопровода и ближним зарядом), м; δ_1 – расчетное допустимое напряжение в стальной стенке действующего трубопровода, $\delta_1 = 0,61$ МПа; $\delta_{вр}$ – предел прочности стали на разрыв, МПа (табл.10).

Приведенные напряжения в стенке действующего трубопровода

$$\delta_{пр} = \sqrt{\delta_0^2 - 0,8\delta_0\delta_1 + 0,64^2\delta_1^2},$$

где δ_0 – кольцевые напряжения в стенке действующего трубопровода, МПа; δ_1 – предельное напряжение в стенке действующего трубопровода от тепловой деформации, $\delta_1 = 100$ МПа.

Таблица 9

Разновидности мерзлого грунта

Мерзлый грунт	Коэффициент для грунтов k_r	
	естественной влажности	для водонасыщенных
Суглинок	1,0	0,9
Глина	0,9	0,9
Супесь	1,1	0,85
Песок	1,3	0,75
Скала разборная	0,8	0,7

Таблица 10

Предел прочности стали на разрыв

Диаметр трубопровода, мм	Толщина стенки, мм	$\delta_{вр}$, МПа	Нормативное рабочее давление, МПа

529	9,0	520	5,5
720	8,0	520	5,5
	11,0	520	5,5
820	9,5	550	5,5
	11,0	550	5,5
1020	11,0	530	5,5
	11,0	520	5,5
	14,0	570	5,5
	14,0	520	5,5
1220	12,5	600	5,5
	15,0	570	5,5
	15,0	520	5,5
1420	17,5	600	7,5
	19,5	600	7,5
	20,5	560	7,5

Сейсмически безопасное расстояние между стенкой трубопровода и ближним зарядом

$$R_{с.б} = 32,7 \sqrt{\frac{Q}{k_r (\delta_1 - \delta_{вр})}},$$

Сейсмически безопасные параметры взрывных работ при рыхлении скальных грунтов вблизи действующих трубопроводов определяются теми же показателями, что и при рыхлении мерзлых грунтов: $Q_{с.б}$, $R_{с.б}$, R .

Расстояние от заряда до действующего трубопровода

$$R = R_m - \left[\frac{D + b(n-1)}{2} \right] \frac{1}{\cos \alpha},$$

где α – угол поперечного уклона косогора (при расположении действующего и строящегося трубопровода в одной горизонтальной плоскости $\alpha = 0^\circ$).

Масса сейсмически безопасного заряда при заданном проектном расстоянии до действующего трубопровода

$$Q_{с.б} = \alpha k_b k_t R^3 / 400,$$

где α – коэффициент, принимаемый равным 1,0 для зарядов нормального рыхления и 1,7 для зарядов выброса; k_b – коэффициент, в период значительного повышения влажности массива $k_b = 0,8$; k_t – коэффициент, для горючих участков трубопровода при $t > 40$ °С $k_t = 0,7$, для остальных участков $k_t = 1,0$. Эта формула приемлема для расчета нижнего предела величины при рыхлении скальных пород любой группы вблизи действующих трубопроводов.

Максимальная масса сейсмически безопасного заряда

$$Q_{с.б} = \alpha k_p k_3 k_n k_q k_t R^3 (\delta_1 - \delta_{пр}) / 35000,$$

где k_p – коэффициент, зависящий от разрыхляемости скальных пород (табл.11); k_q – числовой коэффициент, $k_q = 0,9$; k_n – коэффициент назначения трубопровода, для газопроводов $k_n = 1$, для нефтепроводов $k_n = 0,85$; k_3 – коэффициент, зависящий от видов защиты изоляционного покрытия трубопровода.

Таблица 11

Определение значений k_p

Категория крепости пород по шкале ЕНиП	Коэффициент k_p для массива	
	при естественной влажности	при значительном повышении влажности
IV-VI	1,0	0,85 (0,8)
VII-IX	0,9	0,85 (0,7)
X-XI	0,85	0,8 (0,7)

Примечание. Значение в скобках соответствует водонасыщенным массивам трещиноватых пород.

Значения k_3 в зависимости от вида защиты изоляционного покрытия действующего трубопровода следующие:

Подушка и присыпка из мягкого грунта 1,0
Сплошная футеровка:

деревянные рейки	0,9
камышитовые или сплошные маты	0,85
маты из стекловолокна	1,1
синтетические материалы	1,2

Сейсмически безопасное расстояние

$$R_{с.б} = 32,7 \sqrt{\frac{Q}{\alpha k_{\Gamma} k_3 k_4 k_n k_t (\delta_1 - \delta_{вр})}}$$

Рыхление сезонно-мерзлых грунтов вблизи действующих трубопроводов обычно осуществляют шпуровыми зарядами. Диаметр шпуров до 75 мм, глубина $l_{ш} = 0,95H_m$. Расстояние между зарядами в ряду и между рядами в зависимости от прочности грунтов

$$a = b = (0,8 - 1,4)l_{ш}.$$

Основные расчетные параметры шпуровых и скважинных зарядов для рыхления сезонно-мерзлых грунтов трубопроводов приведены в табл. 12.

Таблица 12

Параметры взрывных работ при рыхлении сезонно-мерзлых грунтов шпуровыми и скважинными зарядами вблизи действующих трубопроводов

Группа грунтов	Глубина промерзания H_m , м	Глубина шпура $l_{ш}$ (скважины l_c), м	Расстояние между зарядами в ряду a , м	Расстояние между рядами зарядов b , м	Удельный расход ВВ q , кг/м ³	Масса заряда ВВ Q , кг
I	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,22
	0,75	0,7	0,75	0,75	0,5	0,34
	1	0,95	1	1	0,5	0,5
	1,5	1,3	1,5	1,5	0,5	1,7
	2,2	1,9	2	2	0,5	5,3
II	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,26
	0,75	0,7	0,75	0,6	0,6	0,4
	1	0,95	1	0,9	0,6	0,6

	1,5	1,3	1,3	1,2	0,6	2,1
	2	1,8	1,5	1,5	0,6	4,8
	2,2	2	1,5	1,5	0,6	6,4
III-IV	0,5	0,5	0,5	0,4	0,8-1,0	0,38
	0,75	0,7	0,75	0,6	0,8-1,0	0,5
	1	0,95	1	0,8	0,8-1,0	0,8
	1,5	1,35	1,3	1,3	0,8-1,0	2,8
	2	1,8	1,5	1,3	0,8-1,0	6,4
	2,2	2	1,5	1,3	0,8-1,0	8,5

Шпурсы при КЗВ располагают по квадратной сетке, при мгновенном взрывании – в шахматном порядке.

Масса заряда в шпуре

$$Q_{\text{ш}} = ql_{\text{ш}}^3,$$

где q – удельный расход ВВ для зарядов рыхления, кг/м³.

При глубине промерзания более 1,2 м для разработки траншей, котлованов, рыхления вскрышного мерзлого грунта при устройстве полок применяют скважинные заряды ВВ. Наиболее распространенным является диаметр скважин 75-140 мм. Глубина скважин $l_c = (0,85 \div 0,9)H_m$, проектная глубина траншеи $H < H_m$.

При организации проведения взрывных работ вблизи действующего трубопровода должен быть решен ряд вопросов, специфических для данных условий. До начала буровзрывных работ необходимо проверить трассу действующего газопровода на возможную загазованность и состояние засыпки действующего трубопровода. Буровзрывные работы на строительстве второй нитки газопровода следует проводить строго по проекту производства работ, составляемому для всех косогорных участков с учетом глубины полувыемок, крутизны склонов, категории грунтов, взаимного расположения по высоте и в плане существующего и строящегося трубопровода, наличия других сооружений, а также установленных для того или другого участка способов разработки и перемещения взорванной породы.

Непосредственно взрывные работы могут быть выполнены по специальному разрешению управлений эксплуатации действующих газопроводов.

При расчете сетки шпуровых и скважинных зарядов особое внимание следует обращать на соответствие расстояния между зарядом и фактическим местом расположения действующего трубопровода.

Производство взрывных работ вблизи действующих трубопроводов следует вести, в основном, с применением методов короткозамедленного взрывания.

Суммарный интервал замедления между взрывами смежных групп зарядов должен быть не менее 45-50 мс.

Параметры буровзрывных работ вблизи действующего трубопровода в зависимости от конкретных условий должны быть определены на основании предварительно проведенных экспериментальных взрывов.

Значительное уменьшение влияния сейсмического действия на существующий трубопровод может быть достигнуто с помощью устройства рядом с ним прорези-щели на глубину 0,3-0,5 м ниже нижней отметки трубы.

При глубине существующей траншеи 1,3-1,4 м для указанной цели будет достаточна прорезь глубиной 1,7-1,8 м. В трещиноватых скальных грунтах такая прорезь может быть образована рыхлителем Д 9В, а также роторными или цепными экскаваторами. Несмотря на то, что эта щель после прохода рыхлителя или экскаватора частично заполнится разрыхленным грунтом, смягчающим ее влияние на сейсмический толчок, она в значительной мере сохранится.

На участках, где существующий и строящийся трубопроводы находятся на одном уровне, применение этого способа, в особенности при рыхлении скальных грунтов взрывами в траншеях, весьма положительно и эффективно.

Компенсирующие щели для уменьшения сейсмического действия взрыва широко применяются при рыхлении мерзлых грунтов. Компенсирующая щель должна располагаться со стороны укладки действующего трубопровода (рис.22).

Для зарядных и компенсирующих щелей применяются двухщелевая (одна щель – зарядная, вторая – компенсирующая) и

трехщелевая (средняя щель – зарядная, крайние – компенсирующие) схемы.

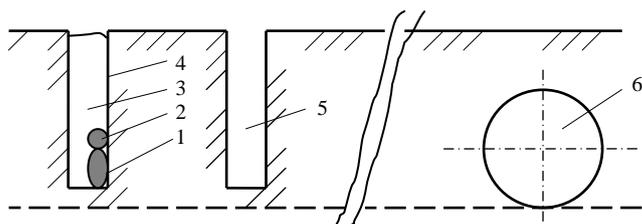


Рис.22. Схема разрыхления мерзлых грунтов с компенсирующими щелями
вблизи действующего трубопровода

1 – заряд ВВ; 2 – ДШ; 3 – забоечный материал; 4 – зарядная щель; 5 – компенсирующая щель; 6 – действующий трубопровод

При разработке траншей шириной 0,7-1,3 м рекомендуется применять двухщелевую схему. Для сохранения наружной стенки зарядной щели от разрушения заряд следует располагать у противоположной стенки и прижимать к разрушаемому массиву.

При ширине траншеи 1,3-1,5 м и более применяется трехщелевая схема с взрыванием заряда в центральной щели. Наружные стенки компенсирующих щелей служат откосами траншеи.

6.3. ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТРАНШЕЙ ПО ДНУ ВОДОЕМОВ

Следует отметить, что вышеприведенный расчет безопасных условий взрывания по фактору воздействия сейсмозрывных волн проводился без учета покрывающего слоя воды, который возможен при взрывании под водой и имеет свои особенности.

К опасным факторам при производстве взрывных работ под водой (рис.23) методом скважинных (шпуровых) зарядов относятся сейсмозрывная и гидроударная волны от взрыва скважинного (шпурового) заряда.

Критериями оценки перечисленных факторов являются:

- для сейсмозрывной волны – скорость смещения грунта в сейсмозрывной волне, удельная энергия в сейсмозрывной волне;
- для гидроударных волн – удельная энергия в гидроударной волне.

При расчете безопасных расстояний и массы заряда на ступень замедления безопасное значение удельной энергии (в джоулях на квадратный метр) принимается согласно рекомендациям «Союзвзрывпрома». Оценка производится по действию гидроударной и сейсмозрывной волны.



Рис.23. Характер формирования гидроударных волн при взрыве скважинного заряда под водой

1 – заряд ВВ; 2 – ДШ; 3 – фронт прямой гидроударной волны; 4 – фронт волны от взрыва ДШ; 5 – фронт преломленной в воде сейсмозрывной волны

Безопасная масса заряда, приходящаяся на ступень замедления при КЗВ и обеспечивающая безопасный уровень воздействия сейсмозрывной волны, находится из зависимости для удельной энергии в поверхностной сейсмозрывной волне,

$$E_6 = 0,12 \cdot 10^6 Q_6^{4/3} r_6^{-3},$$

где r_6 – безопасное расстояние до охраняемого объекта, м.

Безопасное расстояние по действию гидроударной волны от взрыва скважинных (шпуровых) зарядов в ступени при короткозамедленном взрывании

$$r_6 = 16 \cdot \sqrt[4]{H / E_6} \sqrt[3]{Q_6},$$

где H – глубина акватории в районе производства работ, м.

6.3.1. Расчет опасных зон и мероприятия по охране ихтиофауны

В том случае, когда взрывные работы под водой проводятся в водоемах, содержащих ихтиофауну, находящуюся в сфере деятельности Рыбнадзора, необходимо принять меры для ее защиты и получить соответствующее разрешение Рыбнадзора на производство взрывных работ.

Радиус опасной зоны для ихтиофауны определяется по следующим зависимостям:

- для накладных зарядов

$$R_{0,3} = K_{н.з} \sqrt{Q_{ст}} ;$$

- для скважинных (шпуровых) зарядов

$$R_{0,3} = 0,6 K_{с.з} \sqrt[4]{H_{в}} \sqrt[3]{Q_{ст}} ,$$

где $Q_{ст}$ – масса зарядов ступени замедления; $K_{н.з}$ и $K_{с.з}$ – коэффициенты, принимаемые по табл.13 в зависимости от вида охраняемой рыбы.

Таблица 13

Определение значений $K_{н.з}$ и $K_{с.з}$

Вид рыбы	$K_{н.з}$	$K_{с.з}$ при взрывании	
		без забойки	с песчаной забойкой
Атерина, тюлька, хамса, уклейка, чехонь	40	11	8,5
Осетровые рыбы	30	8	6
Щука, окунь, лещ, карп	23	7	5
Тарань, плотва	18	6	4,5
Сазан, язь, линь	15	5,5	4

При КЗВ рекомендуется полученные расчетные значения опасной зоны увеличивать на 20 %.

В целях сведения к минимуму ущерба, наносимого взрывами рыбному хозяйству, необходимо применять отпугивающие взрывы и установку ограждающего мелкоячеистого сетевого барьера.

При систематическом ведении буровзрывных работ на данном участке акватории отпугивающие взрывы производятся заблаговременно, перед установкой мелкоячеистого сетевого барьера. Отпугивающие взрывы проводят, последовательно увеличивая массу взрываемого заряда. Первым взрывают детонатор на расстоянии не менее 10 м от места основного взрыва, затем с интервалом 5-10 мин производят последовательное взрывание зарядов массой 0,1 и 0,2 кг.

6.3.2. Методы снижения интенсивности гидроударных волн подводного взрыва

Наиболее простым и эффективным способом управления гидроударной волны подводного взрыва является пузырьковая завеса (ПЗ), устанавливаемая между зарядами и охраняемым объектом (рис.24).

Вопрос о необходимости использования пузырьковой завесы должен рассматриваться в каждом конкретном случае, так как она эффективно снижает только динамические волны, распространяющиеся по водной среде. Поэтому наибольшая эффективность достигается при защите ихтиофауны при взрывах накладных и скважинных (шпуровых) зарядов.

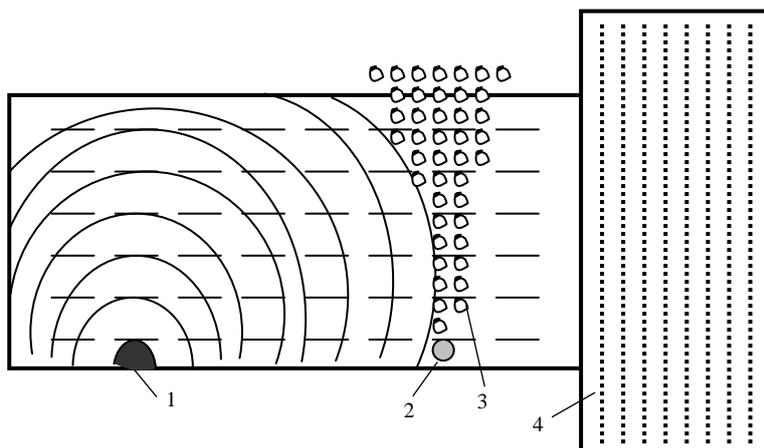


Рис.24. Схема защиты сооружения с помощью пузырьковой завесы

1 – заряд; 2 – воздухораспределитель; 3 – пузырьки воздуха; 4 – охраняемый объект

Когда пузырьковая завеса входит в технологический цикл ведения подводных взрывных работ, перфорированные трубы следует располагать на расстояниях $r_{п.з}$, ограничивающих повреждение самих труб.

Для расчета можно применять формулу

$$r_{п.з} = \frac{0,08}{\sqrt{\delta}} \sqrt{Q_3},$$

где Q_3 – масса эквивалентного накладного заряда, кг; δ – толщина стенки трубы, м.

При однократных взрывах, когда вопрос о сохранности труб пузырьковой завесы не имеет большого значения, желательно приблизить их к заряду, чтобы снизить длину воздухораспределителя ПЗ и расход воздуха. В этом случае (при накладных зарядах)

$$r_{п.з} = 1,2 \sqrt[3]{Q_3}.$$

Для защиты сооружений ПЗ располагается так, чтобы оставался зазор 0,5-1 м между завесой и охраняемым объектом. Если пузырьки касаются охраняемой стенки, то возникающие в процессе пульсации вторичные волны могут вызвать местное разрушение стены.

При производстве взрывных работ под водой нахождение в воде водолазов и других лиц не допускается в радиусе 1 и 2 км при массе зарядов соответственно до и свыше 50 кг. При производстве групповых взрывов судовой ход должен быть закрыт для движения судов, для чего на сигнальных мачтах выше и ниже места взрывания вывешивают запретительные сигналы. Кроме того, работники, находящиеся на лодках, предупреждают подходящие суда о производящихся взрывных работах. Суда, идущие снизу вверх по течению, останавливают не менее чем за 1,8 км от места взрыва, а суда, идущие сверху вниз, – за 1-1,5 км в месте, удобном для разворота и стоянки.

Во всех случаях при оценке уровня безопасности при производстве взрывных работ необходимо, чтобы полученные расчетные результаты по количественным значениям опасных факторов не превосходили допустимых величин, установленных нормативными требованиями.

**РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Единые правила безопасности при взрывных работах. ПБ 13-407-01. М.: Недра, 2001.
2. *Галкин В.В.* Взрывные работы под водой / В.В.Галкин, Р.А.Гильманов. М.: Недра, 1987.
3. *Кутузов Б.Н.* Разрушение горных пород. М.: Недра, 1992.
4. *Носков В.Ф.* Буровзрывные работы на открытых и подземных разработках / В.Ф.Носков, В.И.Комашенко, М.Н.Жабин. М.: Недра, 1982.
5. СНиП III-4-80. Техника безопасности в строительстве. М.: Стройиздат, 1982.
6. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. М.: Недра, 1972.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Методы производства взрывных работ при сооружении траншей в скальных грунтах.....	5
1.1. Взрывание на рыхление сосредоточенными зарядами.	5
1.2. Взрывание на рыхление удлинёнными зарядами, параллельными обнажённой поверхности.	6
1.3. Методика расчета удлинённых зарядов, расположенных перпендикулярно обнажённой поверхности.....	7
1.4. Взрывание на выброс.....	9
1.5. Метод котловых зарядов.....	13
2. Технология контурного взрывания при образовании профильных выемок....	16
3. Технологические особенности производства взрывных работ при проведении подводных траншей.....	23
4. Технология рыхления мерзлых грунтов.	33
5. Технология рыхления сезонно-мерзлых грунтов взрывом при проведении траншей.	42
5.1. Рыхление сезонно-мерзлых грунтов шпуровыми и скважинными зарядами.	42
5.2. Рыхление грунтов сезонного промерзания щелевыми зарядами.	48
6. Безопасность взрывных работ при проведении траншей.	52
6.1. Защита объектов, находящихся в опасной зоне, от повреждения осколками.	52
6.2. Обеспечение безопасности взрывных работ вблизи действующих трубопроводов по фактору воздействия сейсмозрывных волн.....	59

6.3. Особенности обеспечения безопасности производства взрывных работ при проведении траншей по дну водоемов.....	67
6.3.1. Методы снижения интенсивности гидроударных волн подводного взрыва.....	68
6.3.2. Методы снижения интенсивности гидроударных волн подводного взрыва.....	69
Рекомендательный библиографический список	72