

Кафедра «Строительство зданий, подземных сооружений и геомеханика»

Конспект лекций по ДИСЦИПЛИНЕ «ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Составители: проф. Шевцов Н.Р., доц. Рублева О.И.

Донецк-2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ, ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
И ГЕОМЕХАНИКА»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

для студентов уровня профессионального обучения
«специалист» по специальности
21.05.04 «Горное дело»,
специализация «Шахтное и подземное строительство» всех форм
обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры СЗПСиГ
Протокол № 9 от

22.02.2017 г.

Донецк, 2017 г.

ВВЕДЕНИЕ

Взрывное дело существует многие столетия. При этом наряду с применением в военном деле взрыв уже давно применялся и в мирных целях.

Под понятием «взрывные технологии» обычно понимают процессы, выполняемые посредством взрывания зарядов взрывчатых веществ (ВВ), но не связанные со взрывными работами, целью которых, как известно, является отделение части горных пород от массива, дробление и применение их на некоторое расстояние.

Разработанные в мировой практике взрывные технологии, несмотря на значительную в настоящее время стоимость ВВ, имеют в целом ряде случаев ощутимые преимущества по сравнению с другими применяемыми для этих целей, технологиями, а именно:

- мобильность, т.е. возможность доставки необходимого оборудования в любой регион, любыми видами транспорта;
- исключение необходимости стационарных источников энергии;
- дистанционность управления процессом, что позволяет, например, производить разрезку изделий, содержащих токсичные, горючие материалы и даже ВВ;
- сокращение времени, затрачиваемого на выполнение операций, что особенно важно в условиях радиационного загрязнения рабочего места.

Следует добавить, что в настоящее время в целом ряде случаев взрывные технологии являются единственным средством для решения возникающих задач.

В принципе с помощью ВВ можно генерировать давление ударного сжатия до 10...15 миллионов атмосфер. Ударные волны, порожденные взрывом, оказались и отличным «рабочим инструментом», с помощью которого ныне производят немало технологических процессов, в частности обработку вещества.

Использование новых достижений химии и технологии высокоэнергонасыщенных материалов в различных областях техники и в народном хозяйстве позволяет с помощью взрыва не только резко повысить эффективность и экономичность многих промышленных технологий, но и создавать принципиально новые материалы, изделия и технологические процессы.

Задачи, решаемые в современной технике с помощью высокоэнергонасыщенных материалов, значительно расширились в последние годы в связи с применением тонких, «ювелирных» зарядов ВВ малой массы, функционирующих тем не менее с высокой стабильностью и надежностью.

Почти в каждой мирной профессии взрыва – будь то взрыв-горняк или взрыв-строитель, взрыв-геофизик или взрыв-машиностроитель – появились еще и многочисленные новые специальности, как то: взрыв реконструирует (убирает фундаменты из-под устаревшего оборудования, очищает мартеновские печи от монолитов горячего шлака и др.); тушит горящие нефтяные или газовые фонтаны; устраняет ледяные заторы; ликвидирует аварии, вызванные обрывом труб в скважине, а также увеличивает их дебит; взрыв спекает порошки, упрочняет металл и штампует изделия практически неограниченных размеров; обеспечивает безопасность взрывных работ в опасных условиях угольных шахт.

На наш взгляд, пришло время, когда необходимо рассматривать взрывную технологию в неразрывной связи с вопросами техники безопасности и экологии окружающей среды. В действующих изданиях этому уделяется недостаточно внимания. Настоящая книга предназначена восполнить этот пробел и дать студентам горных, машиностроительных и геолого-разведочных специальностей высших учебных заведений цельное представление о взрывных технологиях.

Большинство глав построены на материалах хорошо зарекомендовавших себя справочников, учебников, учебных пособий и монографий.

Авторы при изложении материала отдельных глав в известной степени опирались на собственные исследования и разработки в области безопасности взрывных работ в угольных шахтах и на шахтной поверхности, а также на многолетний опыт преподавания дисциплины «Взрывные технологии» студентам-магистрам шахтного и подземного строительства.

Дисциплина преследует цель формирования у будущих магистров знаний, необходимых для принятия и оценки инженерных решений в областях деятельности, имеющих промышленное значение.

Решение многих существующих и вновь возникающих задач в науке и промышленности невозможно без разработки и внедрения новых взрывных технологических операций. Знание их основ необходимо, например, для прогнозирования поведения материалов при различных методах взрывного импульсного нагружения.

Изложение материала учебного пособия выполнено в такой последовательности, чтобы нашим читателям, студентам и аспирантам была интересна и полезна данная книга.

В книге приводятся примеры практического применения той или иной технологии, даны задачи по расчету параметров технологии.

В конце каждой главы размещаются контрольные вопросы и задания.

В написании параграфа 7.3 «Набрызгбетонирование и побелка горных выработок взрывом заряда ВВ» участвовал доцент кафедры СШ и ПС, к.т.н. Хоменчук О.В., параграфа 1.1 «Обрушение зданий и сооружений на собственное основание» – начальник производственного отдела ОАО «Трест «Донецкшахтострой» Сирачев И.Ж., главы 4 «Взрывные технологии по металлу» – магистр шахтного и подземного строительства Иванчишин А.Д.; в разработке примеров автоматизированного проектирования параметров взрывных технологий – магистр шахтного и подземного строительства

Черкасов И.А. (Приложение А), программы расчета параметров камуфлетных зарядов – магистр шахтного и подземного строительства Камышан И.А. (Приложение Д).

Авторы признательны председателю правления – генеральному директору АООТ «Шахтспецстрой» Назаренко В.Ф. и доценту кафедры СШ и ПС, к.т.н. Калякину С.А. за представленные материалы для написания отдельных глав настоящей книги; инженеру Резнику А.В. и лаборанту Кекух А.И. за кропотливую работу над подготовкой учебного пособия.

Особую благодарность и признательность авторы выражают спонсору издания этой книги – государственной холдинговой компании «Спецшахтобурение».

Все конструктивные предложения по настоящей книге, направленные на улучшение ее содержательной части и методических аспектов, будут приняты с благодарностью.

Тема 1

ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

При строительстве, реконструкции и ремонте промышленных предприятий и других объектов народного хозяйства постоянно возникает необходимость в проведении работ по разрушению горных пород и строительных конструкций: разделка негабаритных блоков, рыхление бетонных фундаментов устаревшего оборудования и кирпичных кладок, валка зданий и сооружений, ликвидация отдельных монолитных бетонных и железобетонных конструкций, разрушение других объектов в строительстве и на производствах, например, на металлургических заводах; при очистке мартеновских печей от монолитов шлака и футеровки.

По сложившейся практике основным способом разрушения во многих случаях является механический – с помощью клин-бабы (драглайном) и отбойного молотка, что весьма трудоемко и небезопасно, особенно при разрушении многоэтажных зданий. Кроме того, по мере внедрения в разрушаемое твердое тело сильно растут напряжения в материале, из которого сделаны механические средства разрушения, что приводит к быстрому износу, даже в случае изготовления их из самой прочной стали.

Более эффективным является взрывной способ разрушения. Особенно ярко преимущества взрывной технологии проявляются в случаях, когда работу большого объема надо выполнить за короткий срок.

В данной главе приведены обобщенные результаты применения различных видов взрывной технологии при ликвидации зданий и сооружений, ремонте, разборке и разрушении устаревшего оборудования в горячих массивах доменных и мартеновских цехов.

Для их выполнения составляется проект (паспорт) производства работ по тем или иным взрывным технологиям, который разрабатывается в соответствии с действующими нормами и правилами, регламентирующими требования к проектированию и производству взрывных работ. Этот проект

предусматривает меры, обеспечивающие безопасное производство взрывных работ при соблюдении «Единых правил безопасности при взрывных работах» и других нормативных документов, учитывающих специфику ведения специальных взрывных работ, применяемых при разрушении зданий и сооружений в стесненных условиях города. Пояснительная записка содержит сведения о конструктивных особенностях здания и сооружения, объеме подготовительных работ, в частности, бурения и Q расчетной величине зарядов ВВ. Объем обрушаемой массы здания (сооружения) подсчитывают по строительным чертежам.

В проекте строго определены зона оцепления и число постов оцепления, необходимых для перекрытия всех возможных подходов к взрываемому объекту.

Проект производства работ согласовывается с органами Госгорпромнадзора Украины, городскими и районными властями, милицией и пожарной охраной.

В ходе изысканий, на основании которых составляется проект взрывной валки здания, решаются следующие задачи:

- уточняется план здания и точно замеряется толщина его стен, уточняется расположение и замеряются основные параметры внутренних капитальных стен, вентиляционных каналов и других пустот;
- определяются прочностные характеристики материала здания;
- выясняется расположение подлежащих защите подземных коммуникаций в зоне обрушения;
- уточняется план расположения действующих и строящихся зданий и сооружений, транспортных магистралей, воздушных линий связи и других объектов в пределах опасной зоны – в радиусе не менее 100 м (рис. 1.1).

Здания и сооружения обрушают на их основание либо в заданном направлении (направленное обрушение). Направленное обрушение

применяют преимущественно при обрушении высотных сооружений (трубы, башни и др.).

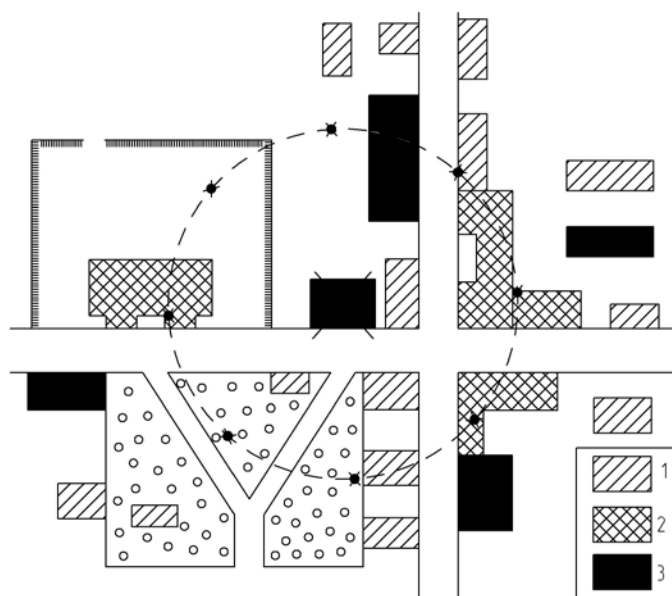


Рис. 1.1 Вариант ситуационного плана местности при валке зданий:
1 – действующие сооружения; 2 – строящиеся сооружения; 3 – сооружения, подлежащие сносу

Принцип обрушения зданий или сооружений на их основание заключается в образовании взрывным способом сквозного подбоя. Во избежание опасных зависаний отдельных элементов здания подбой должен быть сплошным по всему периметру наружных стен и других несущих элементов (колонн, внутренних капитальных стен и т.п.); в результате объект, лишенный опоры, падая на свое основание, разрушается. Сказанное не относится к прочным железобетонным перекрытиям, железобетонным балкам и т.п.

Если вблизи обрушаемого взрывом объекта проходит воздушная линия электропередачи, которой угрожает разрушение, она к моменту взрыва должна быть убрана или обесточена.

В агрегатах и трубопроводах, находящихся в зоне взрывных работ, давление должно быть снижено до пределов, допустимых технологией производства. Агрегаты, эксплуатация которых в случае повреждения при взрыве опасна, на время взрывания должны останавливаться.

При обрушении зданий и сооружений заряды должны инициироваться детонирующим шнуром (ДШ) с пиротехническими замедлителями (КЗДШ, РП-92 и др.) или электродетонаторами мгновенного, короткозамедленного, замедленного действия.

В проектах на взрывные работы, должны быть предусмотрены мероприятия на случай неполного его разрушения. Если, например, неполное обрушение произошло по причине недостаточной высоты подбоя, дальнейшее обрушение необходимо производить при помощи механических средств (клин-бабой, канатами при помощи бульдозеров, экскаватором и т.п.). В этом случае необходимо составить проект организации работ. В случае зависания отдельных фрагментов конструкции здания верхних этажей, их разрушение также необходимо производить механическими средствами.

Взрывное разрушение зданий и сооружений производится строго в установленное время, согласованное с заинтересованными организациями и местными органами власти. О времени взрыва жители ближайших домов должны оповещаться заблаговременно.

При взрывании зарядов электродетонаторами вся электропроводка в здании к моменту начала заряжания должна быть обесточена. Взрывная сеть дублируется.

1.1 Обрушение зданий и сооружений на собственное основание

Здания и сооружения обрушают мгновенным взрыванием зарядов, либо в сочетании с короткозамедленным или замедленным взрыванием в один или несколько приемов (частями).

При обрушении зданий и сооружений за один прием с применением электродетонаторов замедленного действия последовательность взрывания выбирается такой, чтобы взрывом зарядов одного участка не были повреждены укрытия и взрывная сеть других участков.

Здания или сооружения со сплошными капитальными стенами, делящими их внутри на секции, можно обрушать по частям. При обрушении здания в несколько приемов необходимо принять такую последовательность взрывания, при которой обрушенные материалы не могли бы помешать подготовке дальнейших взрывных работ. Примерная последовательность взрывания показана на рис. 1.2.

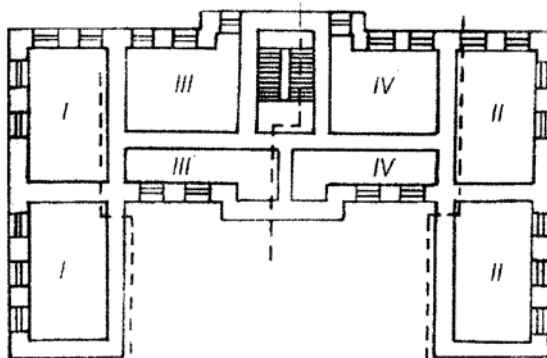


Рис. 1.2 Схема обрушения здания по частям:
I, II, III, IV – очередность взрывания
— — — граница отрыва стен

Если обрушаемое здание или сооружение связано с каким либо другим строением, которое должно обрушаться, то предварительно между ними на расстоянии, не менее 1 м от охраняемого строения, образуют щель при помощи одного ряда зарядов или вручную. В том случае, когда обрушаемый объект только примыкает к другому строению, щель может не пробиваться.

Перед валкой здание должно быть освобождено от деревянных частей (перекрытий, дверных и оконных проемов и др.).

Все оконные и дверные проемы подбиваемого этажа должны быть изнутри наглухо забиты деревянными щитами толщиной не менее 20 мм, закрыты проволочными сетками (диаметр проволоки не менее 2 мм) или заложены мешками с песком и т. п.

При работах в населенных местах необходимо применять меры защиты от разлета осколков.

С наружной стороны обрушаемых зданий и сооружений для перехвата осколков и снижения интенсивности воздушной ударной волны

устанавливаются деревянные щиты толщиной не менее 50 мм, которые должны перекрывать подбиваемый участок стены.

Нижняя часть щитов должна отстоять от стены не меньше чем на 0,5 м, а верхняя часть - касаться стены. Верхней частью щиты должны перекрывать ожидаемую границу подбоя стены (колонны) не менее, чем на 0,5 м (рис. 1.3).

Отдельные щиты скрепляют по верху и по низу проволокой диаметром 2...3 мм или сбивают досками. В результате они образуют одно целое защитное укрытие.

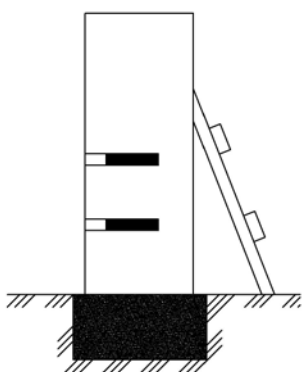


Рис. 1.3 Схема установки щитов напротив линии подбоя

Кроме деревянных щитов, могут быть использованы защитные устройства из проволочных сеток, закрепленных на деревянных стойках, защитные стенки из мешков с песком и защитные деревянные заборы, располагаемые вдоль обрушаемой стены с зазором 0,3...0,5 м, заполняемым песком (рис. 1.4).

При обрушении здания или сооружения на свое основание обычно высота развала не превышает одной трети, а ширина развала - половины высоты стен (расположение на рабочей площадке строительной массы, раздробленной и обрушенной взрывом зарядов ВВ).

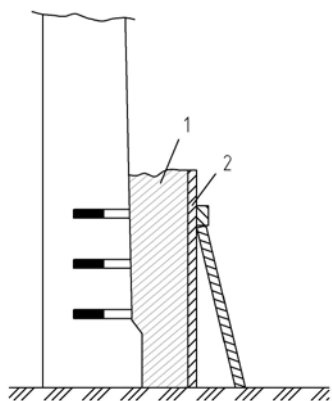


Рис. 1.4 Защитное устройство, предотвращающее разлет обломков

материала:
1 – песок; 2 –
деревянный забор

Окна нижних этажей охраняемых строений, расположенных на границе зоны возможного развала, со стороны обрушаемых зданий должны быть закрыты прочными щитами. Стены этих строений ограждаются забором или бетонными блоками, устанавливаемыми на расстоянии 2...3 м от защищаемого строения.

Окна домов, находящихся в пределах зоны предполагаемого разлета осколков и действия воздушной ударной волны со стороны обрушаемого здания, следует на время взрыва открывать, а витринные окна зданий – закрывать щитами или мешками с песком. В отдельных случаях целесообразно расстеклить окна на время взрыва.

При взрывании около объектов, для которых сотрясение от падения стен обрушаемого здания может быть опасным, валку сооружения необходимо производить на подушку из песка или бревен, сложенных клеткой в несколько рядов (рис. 1.5).

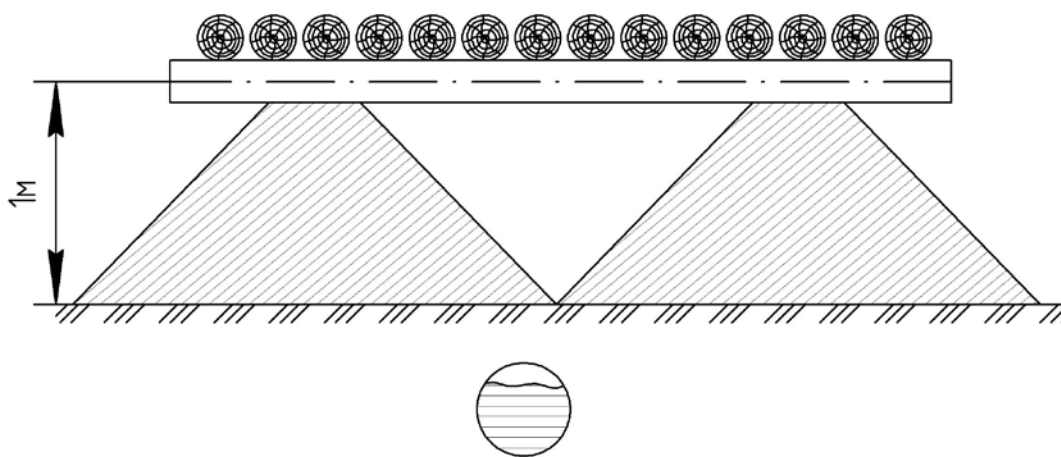


Рис. 1.5 Схема амортизатора, защищающего канализационную трубу

1.1.1 Параметры буровзрывных работ при обрушении зданий и сооружений шпуровым методом

Обрушение зданий и сооружений, расположенных в населенных местах, производится, как правило, шпуровыми зарядами ВВ. При

разрушении особо мощных колонн применяют метод сосредоточенных скважинных зарядов.

Как отмечалось, обрушение зданий или сооружений взрывным способом на их основание достигается образованием сквозного подбоя по всему периметру наружных стен и других несущих элементов, например, колонн.

Высота сквозного подбоя должна быть не менее половины толщины стены, что достигается взрыванием двух, в отдельных случаях трех рядов зарядов, располагаемых в шахматном порядке. Причем, при толщине кладки менее 0,5 м для образования подбоя применяется один ряд зарядов, при толщине кладки от 0,5 до 2 м шпуров располагают в два ряда по высоте (рис. 1.6).

Все шпуров подбоя располагают строго на одном уровне, причем нижний ряд должен быть расположен не ниже 0,5 м от поверхности почвы. Глубину шпуров принимают равной 2/3 толщины стены.

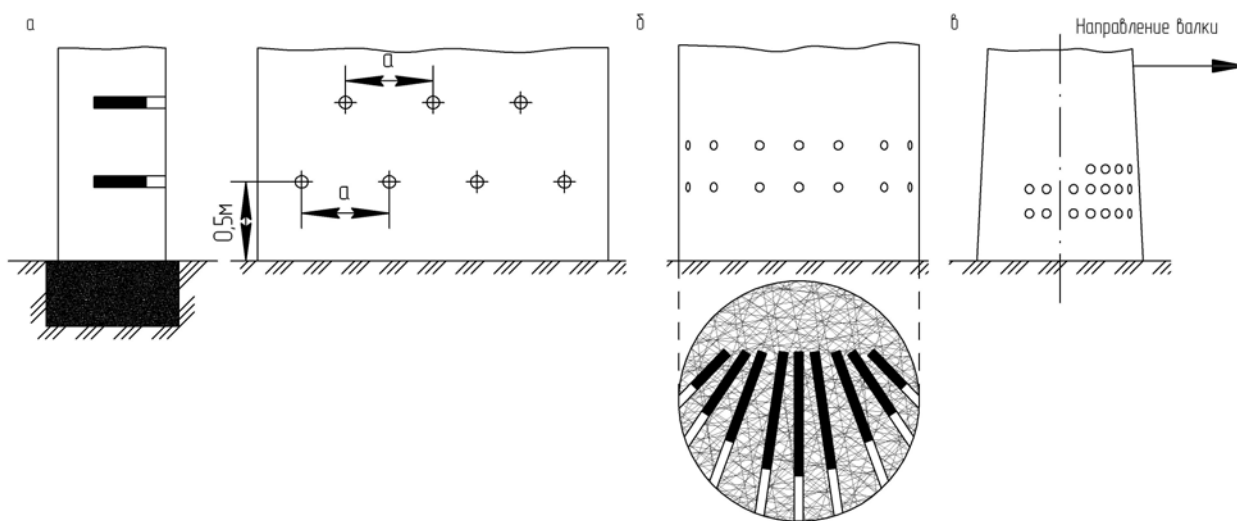


Рис. 1.6 Схема расположения шпуров подбоя:
а – при валке стен; б – при обрушении колонн; в – при валке трубы

Расстояние между шпурами в ряду определяют по формуле:

$$a_{\phi} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\text{сдд}}}{q}}, \text{ м}, \quad (1.1)$$

где $\gamma_{\text{зар}}$ – масса 1 м шпурового заряда, определяемая по формуле:

$$\gamma_{\text{зад}} = \Delta_{\text{ВВ}} \cdot \frac{\pi d_{\text{зад}}^2}{4}, \quad (1.2)$$

$\Delta_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ, кг/м³;

$d_{\text{зар}}$ – диаметр заряда (патрона) ВВ, м.

q – удельный расход ВВ, зависящий от его свойств, крепости разрушаемого материала и глубины шпуров (при толщине стены обрушаемого здания более 1,5 м составляет: для кирпичной кладки $q = 0,4...0,6$ кг/м³, для бетона – $0,5...0,6$ кг/м³, для железобетона – $0,6...0,7$ кг/м³).

Точные значения удельного расхода в зависимости от условий разрушения аммонитом бЖВ приведены в табл. 1.1.

На практике расстояние между шпурами в ряду составляет (0,9...1,3) W, а между рядами шпуров (1,3...1,5) W, где W – линия наименьшего сопротивления (ЛНС) – кратчайшее расстояние от центра заряда ВВ до открытой поверхности (принимается равной половине толщины стены), м.

Таблица 1.1

Удельный расход аммонита бЖВ при обрушении зданий и сооружений

Толщина стены (диаметр колонн), м	Удельный расход (кг/м ³) при кладке			
	кирпичной на известковом растворе	кирпичной на цементном растворе	бутобетонной	железобетонной
Обрушение стен				
0,45	1,8	2,0	2,1	2,2
0,5	1,6	1,8	1,9	2,0
0,6	1,3	1,5	1,6	1,8
0,7	1,2	1,3	1,5	1,6
0,75	1,1	1,2	1,3	1,4
0,8	0,9	0,9	1,1	1,3
0,9	0,8	0,9	1,0	1,2
1,0...1,2	0,7	0,8	0,9	1,1
1,3...1,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1,6...1,7	0,55	0,6	0,7	0,8
1,8...1,9	0,45	0,5	0,5	0,3

Обрушение колонн				
2,0...2,5	0,7	0,8	0,85	0,9
2,7...3,0	0,6	0,7	0,8	0,85
3,2...4,0	0,55	0,6	0,7	0,7
4,2...5,0	0,5	0,5	0,6	0,65

Расстояние между рядами шпуров обычно равно $v_{ш} = 0,87a_{ш}$.

Величину шпуровых зарядов определяют по формуле:

$$q_{\phi} = 0,5q \cdot \delta_{cm}, \quad (1.3)$$

где δ_{cm} – толщина стены, м.

Диаметр шпура рассчитывается по формуле:

$$d_{\phi} = 1,78\delta_{cm} \sqrt{\frac{q}{\Delta_{BB}}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\delta_{cm}}}, \quad (1.4)$$

Примечание. Если при расчете диаметр шпура получается меньше 32 мм, то независимо от полученного результата он принимается равным 32 мм.

На практике диаметр шпуров принимается, как правило, стандартным, т.е. равным 41...42 мм или 52...53 мм.

Для автоматизации расчетов параметров буровзрывных работ по обрушению зданий и сооружений на свое основание разработан алгоритм решения этой задачи с помощью программ для электронно-вычислительных машин (персональных компьютеров). Он реализован в виде программ на языке Pascal (Приложение А).

При взрывании колонны заряд располагают у ее оси по возможности в сосредоточенном виде. Если для этого недостаточно одного, бурят рядом (один над другим) несколько шпуров (см. рис. 1.6 б).

Подбой колонн (опор) диаметром более 2 м производится методом шпуровых зарядов, рассчитанных на рыхление заданного объема.

Для удобства расчета зарядов все здание разбивают на ряд секций, по возможности расположенных симметрично. Принятое расположение и массы зарядов заносят в таблицу.

В простенках, где по ширине необходимо поместить только несколько зарядов, шпуры бурят по прямоугольной сетке.

В углах стен один над другим бурят угловые шпуры, направленные по биссектрисе угла. Глубина шпура по биссектрисе принимается равной не более $2/3$ толщины стены.

При разрушении здания по частям, рассечку его производят вертикальными рядами шпуров, расположенных на таких же расстояниях один от другого, что и в рядах горизонтального подбоя.

Учитывая большое количество взрываемых зарядов, предпочтительнее использовать сети из ДШ, которые проверяют по безопасности образуемой воздушной волны.

Рассчитанный заряд проверяется на вместимость в шпур из расчета, что величина забойки должна быть не менее $1/3$ длины шпура, т.е. заряд необходимо разместить в центре стены так, чтобы центр его совпадал с серединой стены. Длина заряда должна составлять не более $1/3$ толщины стены (половина длины шпура). Заполняют забоечным материалом всю свободную от заряда часть шпура. В качестве забоечного материала для всех видов зарядов можно использовать влажную глину и сухие глиняные пыжи: как в смеси с песком, так и без него.

При обрушении зданий и сооружений применяют патронированные ВВ.

Для ускорения процесса заряжания необходимо заблаговременно подготовить патроны с ВВ требуемой массы и диаметра, согласно проектной документации.

Изготовление патронов-боевиков, а также патронирование ВВ могут производиться в обособленном помещении подлежащего обрушению здания. Доставка ВМ в обособленное помещение обрушаемого здания разрешается только после окончания буровых работ и подготовки здания к обрушению.

До начала буровых работ следует выявить имеющиеся в стенах и колоннах пустоты и металлические конструкции (связи). При расчете и размещении зарядов на объекте они должны быть учтены, так как

металлические связи обычно препятствуют разрушению конструкции взрывом, а пустоты могут изменить величину и направление зарядов.

Если в процессе бурения будут обнаружены дымоходы и другие пустоты, то зарядание в этом месте запрещается.

Приведем примеры.

В октябре 2000 года на шахте «Ганзовская-2» в г. Макеевка одним взрывом ликвидировано надшахтное здание скипового ствола. Здание высотой 15 м и строительным объемом 2800 м³ обрушено на свое основание с заданным отклонением от оси копра.

Подготовка к взрыву заняла 25 дней. Для взрыва было пробурено 900 шпуров диаметром 42 мм, израсходовано 2500 м детонирующего шнура и 40 детонаторов. Заданные параметры взрыва и обрушения обеспечивались пиротехническими замедлителями.

Работы выполнены с четким соблюдением их регламента, с заданным результатом и без каких-либо последствий и инцидентов.

В 2005 г. в г. Донецке обрушено бывшее надшахтное здание клетового ствола шахты «Заперевальная № 2» на промплощадке шахтоуправления «Донбасс» (пробурено 61 шпур, масса шпурового заряда 0,20...0,35 кг), а также здание цеха по производству гипса с фундаментами под оборудование ЗАО «Стром-гипс» в г. Артемовске.

Уникальный пример мастерства взрывников АООТ «Шахтспецстрой» - ликвидация старого здания гостиницы «Донбасс» (рис. 1.7) в самом центре г. Донецка (1938 г.). Пятиэтажное здание довоенной постройки имело внушительную конструкцию: размеры в плане – 14х67х20 м, толщина стен более одного метра, строительный объем 15900 м³. Но главные опасения вызывало расстояние до ближайшего жилого дома – всего 14 м.

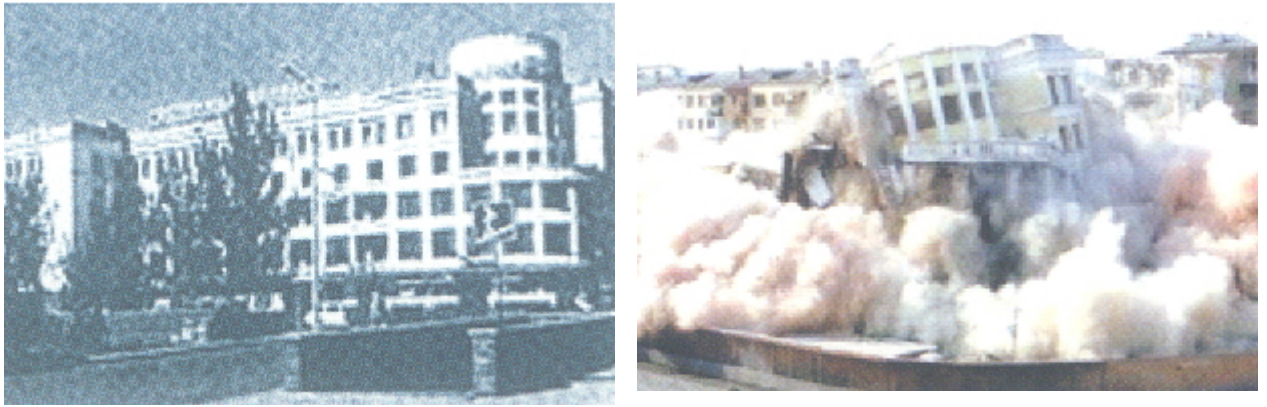


Рис. 1.7 Общий вид здания гостиницы «Донбасс» и ее обрушение взрывом на собственное основание (г. Донецк, 2001 г.)

Взрывные работы были выполнены в феврале 2001 года. Для взрыва было пробурено около 700 шпуров глубиной от 30 до 80 см, израсходовано 700 м детонирующего шнура, 380 электродетонаторов и всего 113 кг взрывчатки (Приложение Б).

В расчет принималось все – влажность и температура воздуха, направление ветра. Несмотря на привычную уверенность в своих действиях «Шахтспецстрой» настоял на осуществлении полного комплекса безопасности взрыва для окружающих. Госавтоинспекция перекрыла доступ автотранспорта, внутренние войска обеспечили оцепление; службы скорой помощи, пожарной охраны и чрезвычайных ситуаций выставили боевые расчеты. Жители ближайших домов были эвакуированы. Взрыв прошел в строгом соответствии со своим сценарием. Ни одно стекло в окружающих домах не было повреждено.

Известен факт успешной валки дымовой трубы на собственное основание (Луганская обл.) путем взрывания внутри трубы, на ее дне мощного сосредоточенного заряда ВВ.

1.1.2 Параметры взрывных работ при обрушении зданий и сооружений накладными зарядами в водяной оболочке

Способ предназначен для разрушения нешпуровым методом объемных монолитных конструкций зданий и сооружений, в том числе стен, колонн, перекрытий, а так же для рыхления негабаритов, особенно в условиях, когда

применить шпуровой метод невозможно, затруднено или опасно (аварийное состояние разрушаемого объекта, отсутствие энергии для производства бурения шпуров, тонкие стены и др.).

Способ разрушения твердых материалов с помощью накладных зарядов достаточно широко известен во взрывном деле. В этом случае заряд располагается на поверхности блока, который разрушается в результате действия мощной ударной волны, образованной при детонации ВВ. Газообразные продукты взрыва в разрушении почти не участвуют. В результате этого при применении открытых накладных зарядов удельный расход ВВ в десятки раз превышает удельный расход ВВ при дроблении породы шпуровыми зарядами. При таком взрывании образуется чрезвычайно сильная воздушная ударная волна и наблюдается интенсивный разброс кусков разрушаемого материала.

Однако из гидродинамической теории детонации известно, что при взрыве заряда ВВ в водяном окружении на границе раздела «ВВ-вода» происходит сжатие воды продуктами детонации, в результате чего устанавливается равенство между массовой скоростью продуктов детонации ВВ за фронтом детонационной волны и скоростью потока воды за фронтом ударной волны, образованной в воде, которая практически без потерь передает энергию взрыва ВВ разрушаемой преграде. Благодаря этому резко увеличивается эффект взрыва и снижается удельный расход ВВ на дробление негабаритных породных блоков или стен сооружения. Оптимизация параметров гидровзрывания позволяет существенно снизить удельный расход ВВ на разрушение по сравнению со взрыванием обычных (открытых) накладных зарядов. Эффективность разрушения при этом определяется импульсным воздействием на преграду ударной волны, распространяющейся в воде, и продуктов детонации ВВ, разлет которых ограничен водяным окружением по всей поверхности заряда. Кроме того, в результате вовлечения в движение масс воды за фронтом ударной волны образуется направленный движущийся поток, который воздействует на преграду,

вызывая дополнительное ее разрушение по механизму «гидроудара». Расчеты показывают, что, например, взрыв патрона ВВ V класса (угленита Э-6) массой 200 г (давление детонации $P_d = 19,8$ кбар) в сосуде с водой передает взрывной импульс твердому материалу в 1,865 раза больший, чем взрыв открытого заряда ВВ IV класса (аммонита Т-19) массой 200 г. (давление детонации $P_d = 56,9$ кбар).

На кафедре «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого национального технического университета разработана технология разрушения строительных конструкций накладными зарядами в водяной оболочке, основанная на теории гидровзрывания. Ее техническая сущность заключается в том, что заряд ВВ размещается в эластичном полиэтиленовом сосуде (рукаве, мешке), заполненном водой, который прикладывается к поверхности разрушаемого объекта, так, чтобы заряд ВВ контактировал с ней своей боковой поверхностью через водяную прослойку.

Параметры технологии подбоя (рыхления) объемных железобетонных, бетонных и кирпичных монолитных конструкций зданий и сооружений взрывом накладных зарядов ВВ в водонаполненной полиэтиленовой оболочке определены при ликвидации поверхностного комплекса шахты № 2 шахтоуправления им. газеты «Правда» (г. Донецк). Взрывания проведены при разрушении четырехэтажного здания котельной (высота первого этажа равна 3,0 м). Стены здания кирпичные толщиной 380 мм (1,5 кирпича), колонны – одиночные, железобетонные с размером поперечного сечения 510x510 мм. Колонны армированы каркасом из 8 сваренных между собой через 200 мм металлических стержней диаметром 10 мм. Арматурный каркас выполнен в виде квадрата с поперечным сечением 380x380 мм, т.е. толщина защитного бетонного слоя составляла 65 мм. Перекрытия в здании котельной выполнены из железобетонных стандартных плит. Перед производством взрывных работ часть здания котельной (северо-западная сторона) была разрушена механическим способом (драглайном с помощью клин-бабы).

Поэтому перед проведением взрываний здание котельной имело вид, показанный на рис. 1.8.

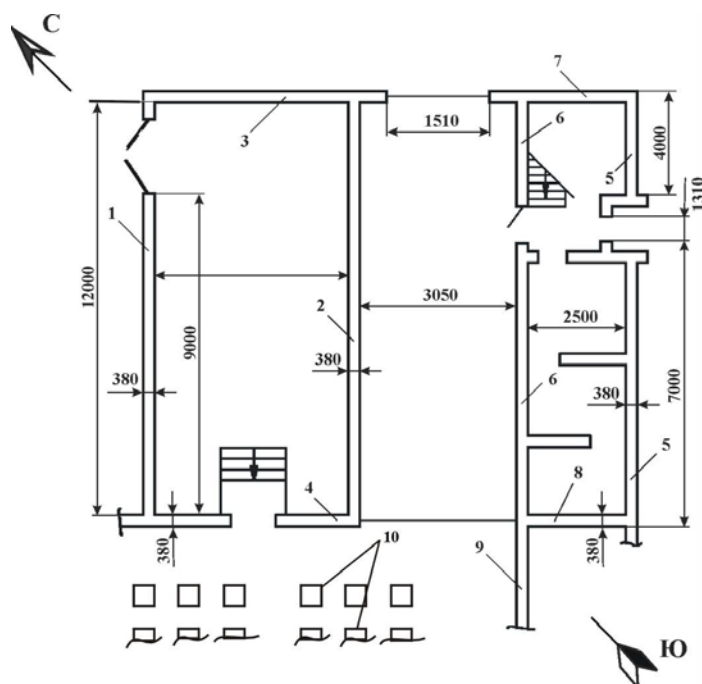


Рис. 1.8 План части котельной шахты № 2 ш/у им. газеты «Правда» перед производством взрывных работ:

- № 1...9 – нумерация стен в порядке их подбоя взрывом накладных зарядов ВВ в водонаполненной оболочке;
№ 10 – одиночные колонны

Техническая сущность способа заключается в следующем. Заряд ВВ, состоящий из одного или нескольких примыкающих друг к другу своими боковыми поверхностями патронов ВВ, снабженных одним инициатором (при взрываниях - детонирующим шнуром), размещается в полиэтиленовом сосуде с водой, который прикладывается к разрушаемому объекту таким образом, чтобы заряд прилегал к его поверхности через водяную прослойку толщиной, равной примерно его радиусу. Это обеспечивается, например, путем применения двойных одинаковых по форме, размерам и прочности полиэтиленовых сосудов (сосуд в сосуде). При этом водой заполняется внутренний (вспомогательный) сосуд, а заряд ВВ размещается между оболочками сосудов в нужном месте, причем продольная ось заряда параллельна продольной оси сосуда. В результате этого эластичные оболочки сосудов прижимают заряд ВВ к наружной оболочке, окружая его со всех

сторон водой. Это достигается путем местного перфорирования внутреннего сосуда, в результате чего в межоболочечное пространство переливается около 2 л воды (рис. 1.9).

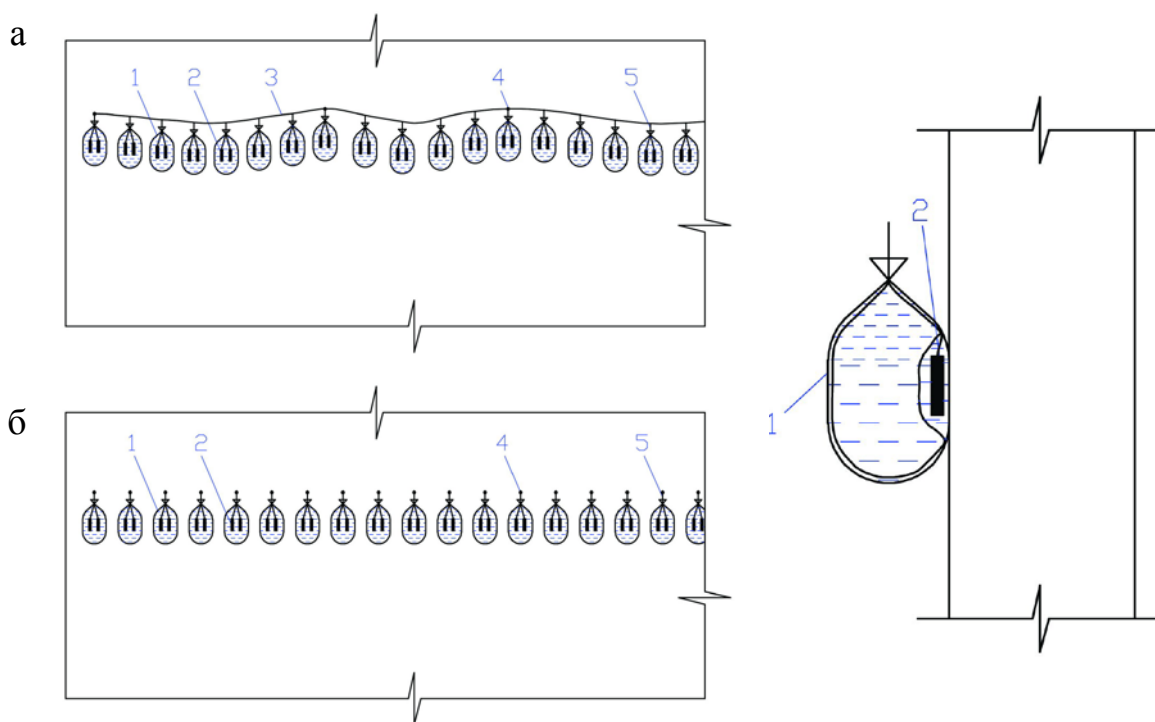


Рис. 1.9 Конструкция и принципиальные схемы размещения на поверхности стены накладных зарядов ВВ в водонаполненном полиэтиленовом сосуде: 1 – двойной полиэтиленовый сосуд, заполненный водой; 2 – заряд ВВ; 3 – несущий элемент (проволока); 4 – опоры; 5 – узлы подвески сосудов (крючья)

Такая конструкция заряда в водяной оболочке обеспечивает надежное окружение заряда водой и прижатие его к разрушаемому объекту.

Снаряженное таким образом устройство подвешивается на стене или колонне. Для этого вдоль стены (вокруг колонны) в нужном месте прокладывалась и надежно укреплялась проволока, на которую с помощью крючьев подвешивались с заданным шагом сосуды (см. рис. 1.9). В некоторых (опасных для проведения механических работ по укреплению несущего элемента) случаях сосуды укладывались непосредственно на пол в прижатом к стене состоянии, причем таким образом, чтобы заряд располагался в вертикальном положении.

Для реализации способа были использованы полиэтиленовые сосуды вместимостью 20 л каждый, допущенные для создания водораспылительных завес при взрывных работах в угольных шахтах. Размеры в сложенном виде: ширина - 500 мм, длина - 550 мм. Толщина полиэтиленовой пленки в этих сосудах колебалась в пределах $0,1 \pm 0,018$ мм.

При проведении взрываний в качестве ВВ применялись аммонит 6ЖВ или Т-19 в патронах диаметром 36 мм и длиной 270 мм.

Инициирование зарядов ВВ осуществлялось детонирующим шнуром типа ДШВ, подрыв которого производился огневым взрыванием с помощью зажигательных трубок, изготовленных из капсуль-детонатора КД-8С и отрезка огнепроводного шнура ОША. Заряд ВВ состоял из одного или сложенных своими боковыми поверхностями 2...5 патронов ВВ, вдоль которых был проложен отрезок детонирующего шнура. Для повышения надежности инициирования ВВ на связке патронов (вблизи ее торцов) набрасывались петли из ДШВ.

Все выходящие из сосудов отрезки ДШ подсоединялись (морским узлом или с помощью изоленты, тесьмы, шпагата) к магистрали из детонирующего шнура, которая в свою очередь скреплялась с зажигательной трубкой.

Проведенные взрывания показали, что способ взрывания накладными зарядами ВВ в водонаполненной полиэтиленовой оболочке обеспечивает эффективный подбой кирпичных стен при удельном расходе $3,0 \dots 3,3$ кг/м² поперечного сечения стены в направлении ее подбоя при величине заряда в одном полиэтиленовом сосуде вместимостью 20 л, равном 0,6...1,5 кг. Причем, обрушение стен достигается даже при взрывании в зажатой среде: например, стена № 6 (см. рис. 1.8) с наружной стороны была завалена обрушившимся от предыдущего взрывания кирпичом, плитами от перекрытия; между стенами № 6 и № 5 располагался металлический лестничный пролет и др. Достоверность установленных параметров

разрушения подтверждается и тем, что подбой стены № 1 двумя последовательными взрываниями был достигнут при общем расходе ВВ, равном 3,1 кг/м².

Снаряженные полиэтиленовые сосуды целесообразно подвешивать по периметру стен здания в один ряд на удобной высоте (до 2,2 м) с помощью крючков на натянутую тетиву из проволоки или тросика или вбитого в стену штыря. На протяжении всей стены целесообразно чередовать заряды различной массы, например, 0,6 кг и 0,9 кг. В сложных условиях подбоя, особенно, когда невозможно или небезопасно укрепить на стене опоры для подвески сосудов (забить штыри, натянуть проволоку и др.), снаряженные полиэтиленовые сосуды могут укладываться на почву (пол здания) вдоль стены. Во всех случаях сосуды с зарядом необходимо размещать на внутренней поверхности стен. Причем в углах стен, вблизи колонн, а также в районе других трудно разрушаемых участков здания необходимо применять заряды повышенной массы.

В процессе проведения взрываний было установлено, что при данном способе подбоя стен практически отсутствует разброс кусков разрушаемых конструкций. Отсутствие разброса взорванной строительной массы подтверждают полученные кинограммы и фотоснимки, из которых следует, что стена начала разрушаться (опускаться вниз), только спустя несколько секунд после взрыва. Обломки разрушенной стены и верхних этажей здания расположились кучно. Отдельные осколки кирпичей даже в направлении, перпендикулярном разрушаемой стене, разбрасывало на расстояние не более 25 м.

При данном способе подбоя стен и при условии рассредоточения накладных зарядов на внутренней поверхности стены здания интенсивность ударной воздушной волны невелика: застекления в здании, отстоящем от стены № 8 на расстоянии 25 м, не были повреждены.

Взрывания по подбою колонн показали, что двумя последовательными взрывами на одном и том же участке колонны (сосуды подвешены на высоте

1,2...1,5 м от ее основания) представляется возможным после первого приема взрывания практически полностью разрушить защитный бетонный слой по всему периметру колонны, а после второго приема - выбить бетон из арматуры, оголив тем самым ее на участке длиной 0,7...1,0 м (более чем в два раза больше высоты водонаполненного сосуда) при общем расходе ВВ примерно равном 8 кг/м^2 поперечного сечения колонны (рис. 1.10).

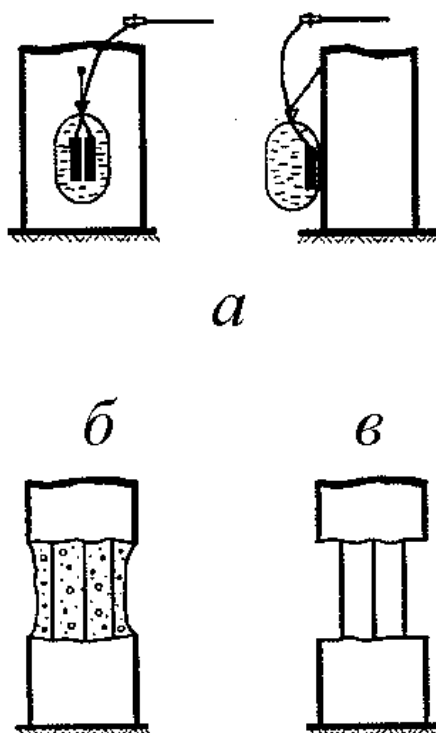


Рис. 1.10 Схема размещения накладных зарядов ВВ в водяной оболочке на поверхности колонн и результаты их взрывания

При этом разрушение защитного бетонного слоя идет в основном за счет действия отраженной взрывной волны (волны разрежения): при взрыве зарядов только на одной плоскости колонны бетон разрушался по всему ее периметру, причем на плоскостях, свободных от заряда, разрушение было более эффективным. Более того, при подвеске сосудов с зарядом ВВ в водяном окружении на двух противоположных плоскостях железобетонных колонн после взрывания арматура была вскрыта только на плоскостях, на которых заряды не взрывались. Поэтому для обеспечения эффективного подбоя железобетонных колонн заряды должны располагаться только на одной стороне колонны.

Таким образом, проведенные испытания свидетельствуют, что способ подбоя колонн накладными зарядами в водонаполненной оболочке является эффективным вторичным средством валки несущих колонн: при наличии кровли (верхней нагрузки) в месте, освобожденном от бетона, арматура согнется и колонна завалится. Этот вывод согласуется с многолетней практикой, утверждающей, что для валки колонн высота сквозного подбоя должна быть не менее их толщины (при взрыве заряда в одном водонаполненном сосуде достигается подбой стены на длине, больше толщины колонны).

Следовательно, способ разрушения взрывом наружных (накладных) зарядов в водонаполненной полиэтиленовой оболочке является новым направлением в подбое объемных монолитных железобетонных, бетонных и кирпичных конструкций зданий и сооружений (стен, колонн, фундаментов и др.). Он обеспечивает высокую эффективность подбоя стен, фундаментов и несущих железобетонных колонн, позволяет сократить радиус опасной зоны по разлету осколков, разместить заряды ВВ в нужном месте и свести до нуля объемы буровых работ, что определяет перспективность его применения при ликвидации поверхностного комплекса закрываемых угольных шахт. Способ позволяет производить взрывные работы по подбою стен, фундаментов и колонн в любых технических условиях; компактность одного заряда ВВ в водонаполненном полиэтиленовом сосуде создает возможность разрушения строительных конструкций в труднодоступных местах.

По данной технологии в 2007 г. по проекту ОАО «Донецкшахтострой» успешно обрушено надшахтное здание скипового ствола шахты им. Орджоникидзе. В качестве ВВ применялся аммонит 6ЖВ. Всего было взорвано 97 зарядов (накладных – 7, простеночных – 90) массой 0,9 и 1,2 кг в водяной полиэтиленовой оболочке; высота подвески – 1,0 м от уровня земли (каждый снаряженный сосуд подвешивался по периметру внутренних стен здания с шагом 0,6 м на индивидуальных крючьях - стырях).

1.2 Валка сооружений в заданном направлении

Наиболее экономичным и быстрым способом реконструкции предприятий (без остановки их производственного цикла) и ввода новых мощностей на месте старых является ликвидация отслуживших свое объектов взрывом с направленным обрушением на свободное пространство. К этому способу прибегают, если сооружение (башня, труба) находится среди других сооружений, зданий, которые не должны быть повреждены. Направлением, обеспечивающим их сохранность (ось валки), обычно является биссектриса допускаемого сектора валки.

На валку труб и башен составляют такую же проектную документацию, как и на обрушение зданий. Учитывая очень стесненные условия производства взрывных работ, ограниченный сектор направленного обрушения труб, проектом принимается шпуровой метод производства взрывных работ.

В процессе проведения изысканий устанавливают точное расположение окружающих строений, рельеф местности и наличие свободных секторов, определяющих направление валки трубы. Кроме того, в зоне падения обрушаемой массы фиксируют расположение подземных коммуникаций, которые подлежат защищать амортизаторами, расположение зданий, сооружений, дорог и других объектов, находящихся в опасной зоне.

Принцип направленного обрушения сооружений (например, труб) заключается в образовании сквозного подбоя (вруба) в несущих опорах на $2/3 \dots 3/4$ периметра не по всему горизонтальному сечению, а только со стороны направления валки (рис. 1.11).

Сохранение опоры (целика) с одной стороны и практически мгновенная ликвидация ее со стороны вруба создают (за счет силы тяжести и реакции опоры) в целике опрокидывающий момент сил, обеспечивающий падение сооружения в заданном направлении.

Если прочность целика недостаточна, труба в процессе наклона начинает разрушаться вначале около вруба, затем в других местах. Полученная в начальный момент кинетическая энергия разворачивает трубу в заданном направлении.

При прочих равных условиях более точная направленность получается в том случае, когда целик испытывает меньшее напряжение на сжатие. Этому требованию для круглых труб отвечает целик в секторе $135...140^\circ$.

Место подбоя трубы (башни) должно выбираться на таком горизонте, где в оставляемом целике и возле него нет проемов (двери, газоходы и т.п.). Если не представляется возможным выбрать такое место, проемы следует тщательно заделать, чтобы создать равнопрочный ствол. Валка в заданном направлении не рекомендуется, если проем, подлежащий заделке, находится от вершины угла вруба на расстоянии менее чем $4...6$ толщины ствола.

Размещение шпуров двухъярусное (см. рис. 1.11) или трехрядное (см. рис. 1.6 в). Во втором варианте два нижних ряда располагают на длину равную $0,75$ длины окружности трубы, а верхний ряд – на $0,67$ длины окружности. Вертикальная линия, соединяющая центральные шпуры каждого ряда, совпадает с направлением валки трубы. Диаметр шпуров должен быть не менее 42 мм. Шпуры располагают по квадратной сетке, расстояние между рядами шпуров равно расстоянию между шпурами в ряду, т.е.

$$\hat{a}_\phi = \dot{a}_\phi = 0,7\sqrt{\gamma_{\text{сд}} / q} \quad (1.5)$$

Для стандартных патронов диаметром 32 мм аммонита 6ЖВ
 $\gamma_{\text{зар}} = 0,8$ кг/м.

Масса и расположение зарядов для образования сквозного подбоя определяются так же, как при обрушении стен.

Расположение крайних зарядов вруба, граничащих с целиком, должно обеспечивать получение целика заданных размеров. Величина расчетного удельного расхода ВВ для этих зарядов должна приниматься вдвое меньше, чем для остальных зарядов.

При повышенных требованиях к соблюдению заданного направления валки (сектор валки 90° , ствол ослаблен и т.п.) вместо крайних шпуров вруба, располагаемых около целика, следует пробивать в стволе проемы, высота которых должна быть не менее расстояния между примыкающими верхним и нижним рядами зарядов, а ширина, определяемая удобством проходки проема, не должна превышать 1 м.

Проем может быть образован путем обуривания его сквозными отверстиями с шагом, равным диаметру отверстий буровой коронки. Бурение по такой сетке возможно в том случае, когда в соседнее отверстие вставляют стержень такого же диаметра, как у буровой коронки.

В отдельных случаях в целях точной укладки трубы в заданное пространство применяют тросовую натяжную трубу. Трос петель охватывает верх трубы и идет к лебедке, установленной в направлении валки за пределами возможного разлета. Перед взрывом трос натягивается. Для контроля за натяжением троса, на конце его должен быть установлен динамометр. Взрывание шпуровых зарядов ВВ производят в момент, когда натяжение троса достигает расчетной величины.

При наличии в трубе внутренней шамотной облицовки, непосредственно прилегающей к стволу, глубину шпуров, линию наименьшего сопротивления и массу заряда принимают с учетом этой облицовки. Последнюю доучитывают, если она не находится в контакте со стволом. Наличие футеровки и ее расположение при отсутствии чертежа трубы уточняются бурением разведочных шпуров или в процессе пробивания проемов в вершине угла вруба.

При определении опасной зоны следует учитывать дополнительный разлет осколков и возможный сейсмический эффект от удара о грунт при падении трубы.

При валке железобетонных труб необходимо учитывать влияние арматуры на их устойчивость после взрыва, поскольку арматура в зоне вруба зарядами не перебивается, а в целике может выдерживать значительные

напряжения на растяжение. Железобетонная труба обрушается в направлении валки в том случае, когда опрокидывающий момент от силы тяжести трубы будет больше суммы моментов сил от сопротивления арматуры в рубку продольному изгибу и от сопротивления целика растяжению.

Если обрушаемая труба или башня имеет жесткую связь со зданием, то эту связь нарушают взрыванием вертикальных отсекающих рядов шпуров. Расстояние между шпурами в отсекающих рядах рассчитывают по той же формуле (1.5), что и расстояние между шпурами подбоя и подкола.

При взрывании обычно применяют сети из ДШ, электрическое взрывание применяют реже.

Заряды рассчитывают так же, как и при валке зданий на собственное основание (см. 1.1.1). Стоимость обрушения труб и башен подсчитывают по индивидуальным сметам, составляемым для каждого объекта, исходя из намечаемого объема работ по его обрушению.

Меры безопасности при валке труб и башен те же, что и при валке зданий.

В сентябре 2002 г. Акционерным обществом открытого типа «Шахтспецстрой» выполнено обрушение башенного железобетонного копра ствола № 7 шахты «Кочегарка» в г. Горловке. Уникальность этой работы заключена в габаритах этого высотного сооружения из монолитного железобетона: высота копра – 106 м, строительный объем – 54000 м³, масса копра – более 20000 т. Работы осложнялись расположением площадки копра практически в центре города. Для подготовки к взрыву бригада из 10 человек за 40 дней пробурила около 500 шпуров и ослабила несущие элементы копра до десятиметровой отметки. Для взрыва использованы 1000 м детонирующего шнура, 50 детонаторов и 170 кг ВВ. Тщательная инженерная и организационная подготовка позволили выполнить взрыв без какого-либо ущерба для окружающих объектов (рис. 1.12 а).

Подобная сложная инженерная задача была решена Акционерным обществом «Шахтспецстрой» для горловского Концерна «Стирол», где в

июле 2002 г. осуществлено обрушение дымовой трубы высотой 88 м и диаметром от 7 до 4 м. Стесненность и загроможденность площадки потребовала ювелирной точности расчетов и способов производства буровзрывных работ. Участок единственно возможного места обрушения трубы представлял собой сектор всего в 20° . Необходимо было «уложить» трубу между зданиями, не только не повредив их, но и сохранив остекление. Для взрыва было пробурено 58 шпуров и израсходовано всего-навсего 14 кг ВВ. Точность и взвешенность подходов оправдали себя – труба легла точно в заданное место (рис. 1.12 б).

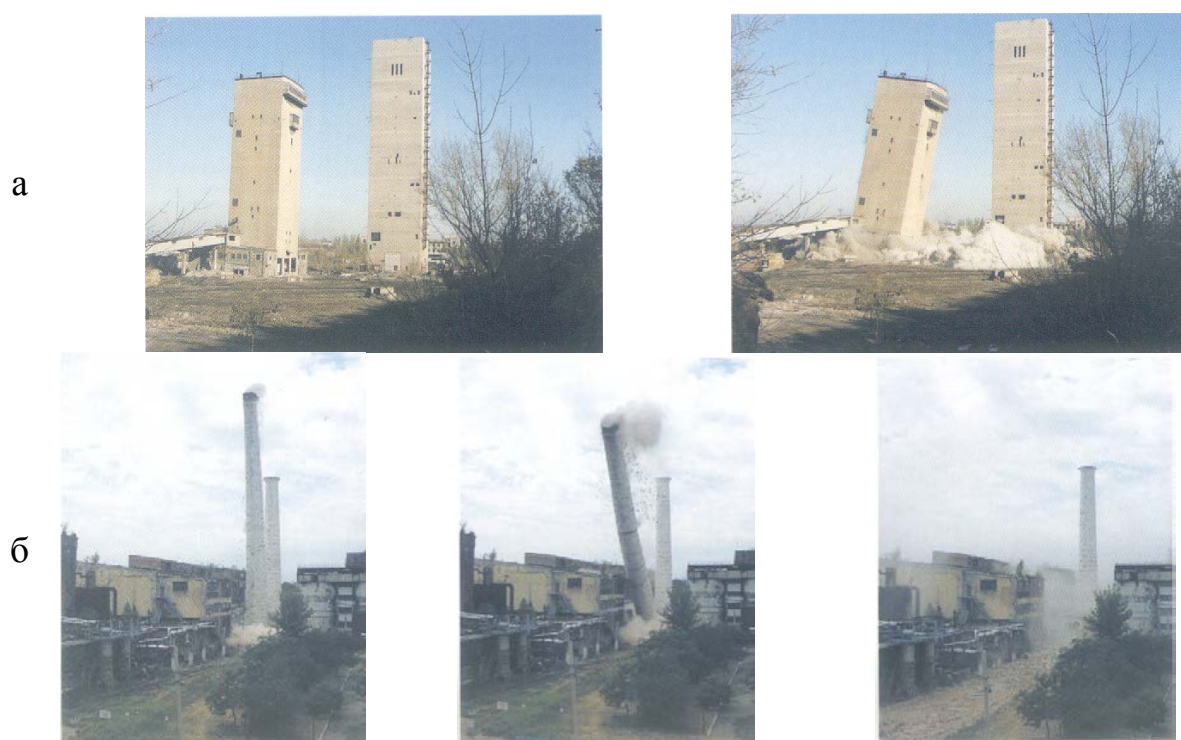


Рис. 1.12 Общий вид и последовательность падения в заданном направлении после взрыва шпуровых зарядов ВВ высотных сооружений:
а – железобетонного копра ствола № 7 шахты «Кочегарка»; б – дымовой трубы на территории промплощадки Концерна «Стирол»

В качестве примера в Приложении В приведены параметры буровзрывных работ по валке в заданном направлении дымовых труб на площадке концерна «Стирол».

В 2005 г. были обрушены в заданном направлении две железобетонные опоры бывшей конвейерной галереи Старобешевской ГЭС. Диаметр опор – 4,0 м, высота – 15,0 м. Армирование опор – двухрядное из арматуры класса

А-111 диаметром 18 и 25 мм, связанное спиральной навивкой из арматуры класса А-1 диаметром 12 и 16 мм, одинаковое во всех сечениях. Общее количество шпуров – 29, масса шпурового заряда – 0,7 кг (заряды рассредоточенные с массой ярусов 0,6 и 0,1 кг), общий расход ВВ – 20,3 кг.

1.3 Дробление фундаментов, разрушение бетонных и железобетонных конструкций

По типу сооружения и крепости различают фундаменты четырех категорий: I – кирпичные на известковом растворе; II – кирпичные на цементном или сложном растворе; III – бетонные без арматуры; IV – железобетонные.

В зависимости от средств уборки взорванной массы, фундаменты взрывают на дробление или разрушают на транспортабельные куски.

Дробление фундаментов с применением взрывных работ производят на открытых заводских или строительных площадках и внутри помещений.

При дроблении фундаментов применяют шпуровые заряды (рис. 1.13) и заряды в рукавах.

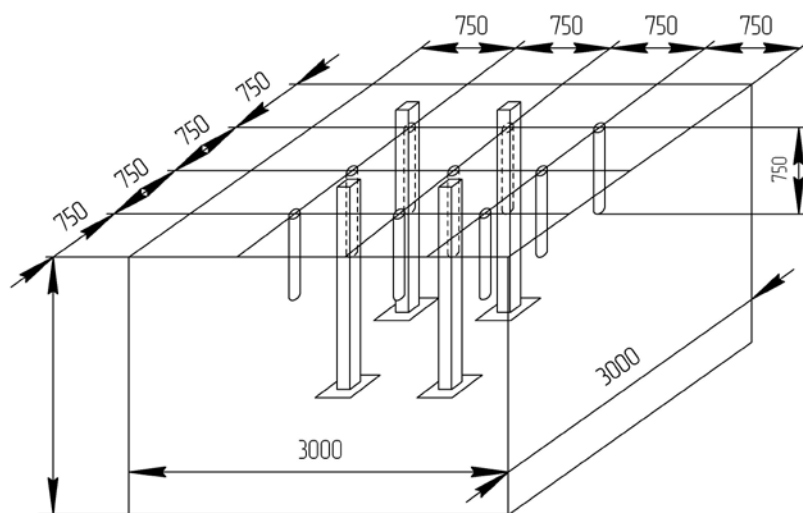


Рис. 1.13 Вариант схемы расположения шпуровых зарядов при рыхлении фундаментов

Если мощность бетонного блока превышает 5 м в наименьшем измерении, для его взрывания применяют скважинные или камерные заряды, для бурения которых наиболее целесообразно применять буровые машины.

Бурение следует вести сверху вниз или с боковой поверхности. В последнем случае, для удобства бурения с одной стороны установки станка скважины можно располагать веером (рис. 1.14).

При разрушении фундамента на всю высоту, глубину шпуров принимают равной 0,9 высоты фундамента, при послойном разрушении – равной высоте каждого слоя (глубина шпура при взрывании последнего слоя – 0,9 его высоты). При горизонтальном расположении шпуров между основанием фундамента и нижним рядом шпуров оставляют предохранительный слой толщиной 0,2...0,4 м.

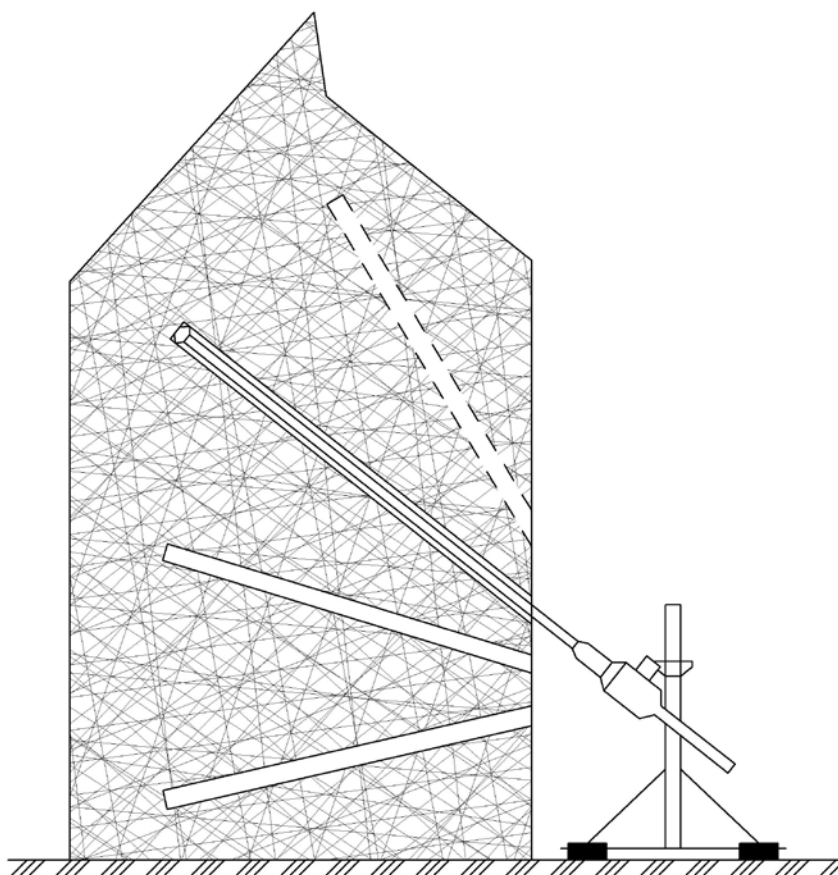


Рис. 1.14 Веерное расположение скважин в бетонном массиве

Диаметр шпуров принимают равным 35...60 мм, линию наименьшего сопротивления – 0,5...0,7 глубины шпура, расстояние между шпурами в ряду – (1,0...1,3) W.

При размещении зарядов в рукавах их диаметр принимают равным 0,01...0,02 м, длину – до 1,5 м, расстояние между центрами зарядов – 1,0...1,5 длины рукава.

Расчетный диаметр зарядов должен строго выдерживаться. Необходимо учитывать, что даже при помещении расчетного количества ВВ в шпур завышение диаметра заряда приведет к усиленному разлету кусков породы.

При дроблении фундамента горизонтальными шпурами расстояние между основанием фундамента и нижним рядом шпуров должно составлять 0,2...0,4 м.

Массу шпурового заряда определяют по формуле:

$$q_{\phi} = q \cdot r_{\phi}^2, \text{ кг}, \quad (1.6)$$

где r_{ϕ} – расстояние от оси шпура (рукава) до края фундамента, м;

q – удельный расход ВВ, зависящий от категории фундамента:

Категория фундамента	I	II	III	IV
Удельный расход аммонита бЖВ, кг/м ³	0,3...0,45	0,4...0,55	0,5...0,65	0,5...0,7

При $r_{\phi} > 1$ м величину заряда определяют по формуле:

$$q_{ш} = q \cdot r_{\phi}^3 \quad (1.7)$$

Величина r_{ϕ} принимается в пределах (0,5...0,7) $l_{ш}$, где $l_{ш}$ – глубина шпура.

Если r_{ϕ} составляет меньше половины $l_{ш}$ то, заряд в шпуре следует рассредоточить, рассчитывая каждую часть заряда на свою ЛНС. Расстояние между центрами зарядов, расположенных в одном шпуре, следует принимать не меньше величины $a_{ш}$ – расстояния между шпурами за исключением верхнего промежутка, который может быть короче остальных вследствие уменьшенного веса верхнего заряда.

Верхняя, свободная от заряда часть шпура, должна заполняться забоечным материалом.

Общий расход ВВ определяется материалом и толщиной кладки (табл. 1.2).

Взрывание зарядов осуществляют при помощи детонирующего шнура и электрическим способом; инициирование магистрального детонирующего шнура – электродетонатором мгновенного действия.

Если вблизи взрываемого массива находятся действующие агрегаты, в качестве заряда используют три-четыре нити ДШ.

Для уменьшения разлета осколков при разрушении фундаментов применяют гидровзрывной способ. В качестве заряда используют 8...12 нитей ДШ длиной, равной 0,65...0,75 глубины шпура. В нижней части шпура помещают 50...100 г водостойчивого ВВ. Свободное пространство заполняют водой до отметки, находящейся на 0,1 м ниже устья шпура. Этот метод малоэффективен при дроблении железобетона с большой насыщенностью арматурой.

Таблица 1.2

Расход ВВ при дроблении фундаментов

Материал кладки	Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³	Расход ВВ (кг/1000 м ³ фундамента) при толщине кладки, м				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Кирпич, бетон	0,30	367	489	450	507	489
	0,35	400	533	483	560	534
	0,40	467	622	584	600	623
	0,45	533	689	667	667	700
	0,50	600	733	750	747	767
Железобетон	0,55	633	756	800	774	800
	0,60	700	800	867	827	867

Бетонные и железобетонные конструкции взрывают с получением либо мелких кусков (с последующей уборкой бульдозерами или экскаваторами), либо крупных транспортабельных (с уборкой кранами).

Взрывание железобетона обычно сводится к выбиванию бетона из арматуры. Железобетонный массив разделяют на транспортабельные блоки, по границам которых взрывают шпуровые заряды из высокобризантного ВВ (скальный аммонал, детонит). Расстояние между шпурами принимают равным (10...15) $d_{ш}$, глубину шпура – 2/3 толщины плиты.

Массу шпурового заряда определяют по формуле:

$$q_{\phi} = 0,65d_{\phi}^2 l_{\phi} \Delta_{BB}, \quad (1.8)$$

где $l_{\text{ш}}$ – глубина шпура, м.

При разрушении железобетонной плиты или стены толщиной менее 0,4 м применяют удлиненные накладные заряды следующей массы (кг на 1 м заряда):

Толщина плиты, м	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
Масса аммонита 6ЖВ, кг на 1 м заряда	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5	7,0	11,0

При перебивании железобетонных колонн используют метод шпуровых зарядов, которые располагают в два ряда на расстояниях $15 d_{\text{ш}}$ в ряду и между рядами. Масса заряда ВВ такая же, как при перебивании плит.

Фундаменты, как правило, находятся на определенной глубине в почве. Кроме того, взрывааемые фундаменты часто расположены в зданиях, иногда среди действующих машин. Вследствие этого буровзрывные работы должны предусматривать подготовительные работы по проходке траншеи вдоль одной из сторон фундамента на всю глубину заложения заряда, устройство укрытий от разлета осколков и действия взрывной волны.

На чертежах должна быть показана траншея, пройденная с одной из сторон фундамента. Если фундамент можно оббуривать сверху вниз, то объем траншеи должен составлять около 30% объема фундамента, чтобы в общем пространстве разместился взорванный объем.

Если фундамент необходимо оббуривать с боковой поверхности, ширина траншеи должна быть 2,0...2,5 м, так как в ней нужно разместить перфоратор с метровым забурником.

При проведении изысканий изучают следующие вопросы:

- характеристику материала сооружения;
- конструкцию сооружения и мощность его или его частей, подлежащих разрушению;

- средства уборки и требования к габаритам блоков;
- план расположения подлежащих защите от воздействий взрыва сооружений и коммуникаций;
- сведения о глубине заложения фундамента и категорий окружающего грунта.

При работе в стесненных условиях перед взрыванием зарядов фундамент должен быть укрыт или металлическими листами толщиной не менее 10 мм, или металлическими колпаками, или газопроницаемыми укрытиями (сетчатыми, цепными, канатными). Укрытия устанавливаются на фундаменте на расстоянии не менее 0,5 м от устья шпуров. При этом используются прокладки из деревянных шпал (бревен). Укрытие должно выступать за края фундамента на расстояние, исключающее разлет осколков. В случае, если фундамент разделяется вблизи зданий, сооружений и машин, в проекте предусматривается специальное укрытие коробчатой формы из досок толщиной не менее 50 мм. Укрытия монтируются кранами после заряджания шпуров (скважин) до присоединения зажигательной трубки к магистрали ДШ.

1.4 Разрушение составных конструкций (на примере ликвидации шахтных ракетных пусковых установок)

В рамках Программы совместного уменьшения угрозы по соглашению между Украиной и США «Шахтспецстрой» на протяжении 1996-2002 гг. ликвидировал более 70 шахтных пусковых установок (ШПУ) и подземных унифицированных командных пунктов (УКП), десятки других объектов инфраструктуры стратегических вооружений.

Это уникальная технология, качественное и безопасное выполнение которой в установленный срок получило высокую оценку комиссии Сената США, Министерства обороны Украины.

Данная технология послужила основой для ликвидации объектов хранения ракетного топлива (Одесская и Николаевская область), ремонта

железнодорожных путей для безопасной перевозки межконтинентальных баллистических ракет к месту их демонтажа (Ивано-Франковская, Винницкая, Одесская и Черниговская области) и имел хорошие перспективы для постоянного применения при ремонтах объектов инфраструктуры Министерства обороны Украины.

В ходе выполнения работ по реструктуризации угольной промышленности шахтостроители решают целый ряд вопросов, в числе которых одним из важнейших является ликвидация вертикальных шахтных стволов с обеспечением высокой безопасности производства ликвидационных работ, а также исключением негативных экологических последствий, которые могут проявляться через десятки лет и вызываться самыми различными факторами. Расходы на эти операции составляют около 38% всех затрат, связанных с закрытием шахты. Основой нормативной технологии является заполнение ствола измельченной перегоревшей породой, устройство ограждающих железобетонных перемычек (преград) на сопряжениях ствола с горизонтальными выработками в целях недопущения ухода засыпанного материала и ограждения ликвидируемого ствола от земной поверхности.

Наряду с высокой трудоемкостью, этот способ ликвидации шахтных стволов не исключает возможности ухода засыпанного материала особенно в затопленных и обводненных стволах. Вместе с тем, для ликвидации вертикальных стволов, имеющих надежное бетонное крепление и пройденных в устойчивых боковых породах, может быть использована буровзрывная технология ликвидации шахтных пусковых установок межконтинентальных баллистических ракет.

Ее применение даст возможность отказаться от засыпки шахтных стволов и шурфов и избавиться от необходимости возводить ограждающие перемычки (устраивается перемычка с демпферной подушкой только ниже обуренного участка ствола).

Для расклинивания разрушенной взрывом крепи и породы в сечении ствола они скрепляются песчано-цементным раствором по известной технологии. Эта пробка одновременно обеспечивает ограждение ликвидируемого ствола от земной поверхности.

Наконец, рассматриваемая в данном подразделе буровзрывная технология будет полезной при ликвидации морально и физически устаревших объектов подземной инфраструктуры городов, а также для обрыва обсадных металлических труб в технических скважинах.

1.4.1 Характеристика объектов и района их расположения

Шахтные пусковые установки и унифицированные командные пункты расположены в центральной и южной части Приднепровской возвышенности, которая характеризуется плоскими водоразделами, чередующимися с глубокими долинами рек, переходящих на юге в зону с балками и оврагами. Поля разделяются лесопосадками.

Районы расположения ШПУ и УКП пересекают реки Днепр, Южный Буг и их притоки. Почва представлена четвертичными отложениями: глинами, песками, сумесями, сменяющимися в толще напластований выветренными трещиноватыми гранитами. Водоприток водоносных горизонтов составляет 15...300 м³/сут. Климат районов мягкий, умеренно-континентальный. Средняя годовая температура составляет +6,8⁰С и +8⁰С, скорость ветра до 9 м/с.

ШПУ и УКП расположены на значительном удалении от населенных пунктов, ЛЭП, железных дорог и других объектов (более 350 м). Подъездные дороги выполнены с твердым покрытием (асфальтированные, щебеночно-гранитные, булыжные), встречаются и грунтовые.

Основная особенность (с точки зрения производства взрывных работ) заключается в том, что некоторые из них располагаются в лесах, где ограничена видимость.

Шахтные пусковые установки и унифицированные командные пункты являются высокозащитными фортификационными сооружениями, которые обеспечивают защиту расположенного внутри оборудования от ядерного воздействия. Они состоят из железобетонных конструкций толщиной от 0,3 до 2,0 м, металлобетонных конструкций с толщиной стальных листов от 5 до 40 мм. Конструкции ШПУ содержат до 200 т металла и 16 тонн парафина.

Как правило, конструкции шахтных пусковых установок унифицированы. В данном подразделе взрывная технология изложена на примере ликвидации боевых комплексов ракет стратегического назначения СС-24 в количестве 47 объектов в Хмельницкой, Николаевской и Кировоградской областях в соответствии с проектом, разработанным АООТ «Шахтспецстрой». Она включает производство буровзрывных работ по разрушению крышек защитного устройства, верхнего опорного кольца, верхнего и нижнего силовых поясов, аппаратного отсека пескоцемента, «брусчаток» (фундаментов антенн) и других железобетонных конструкций (рис. 1.15 и 1.16).

Внешний пояс ШПУ, состоящий из железобетонных конструкций и пескоцемента, является защитой от сейсмических колебаний.

Все объекты имеют ограждение, состоящее из железобетонных столбов, на которых натянута колючая проволока или сетка. Расстояние от места взрыва до внешней ограды в среднем колеблется от 90 до 200 м. Это обстоятельство позволяло контролировать проникновение людей и животных в пределы взрывоопасной по разлету осколков зоны.

На расстоянии 80...90 м от места взрывных работ располагаются железобетонные сооружения (потерны), которые использовались в качестве укрытий для взрывтехперсонала в момент производства взрывов. Расположенные на территории объекта здания и сооружения не подлежали защите от сейсмического воздействия взрывов и действия воздушной ударной волны, так как подлежали ликвидации. Все объекты были связаны

между собой внутренней телефонной связью и имели выход в структуры Министерства обороны Украины.

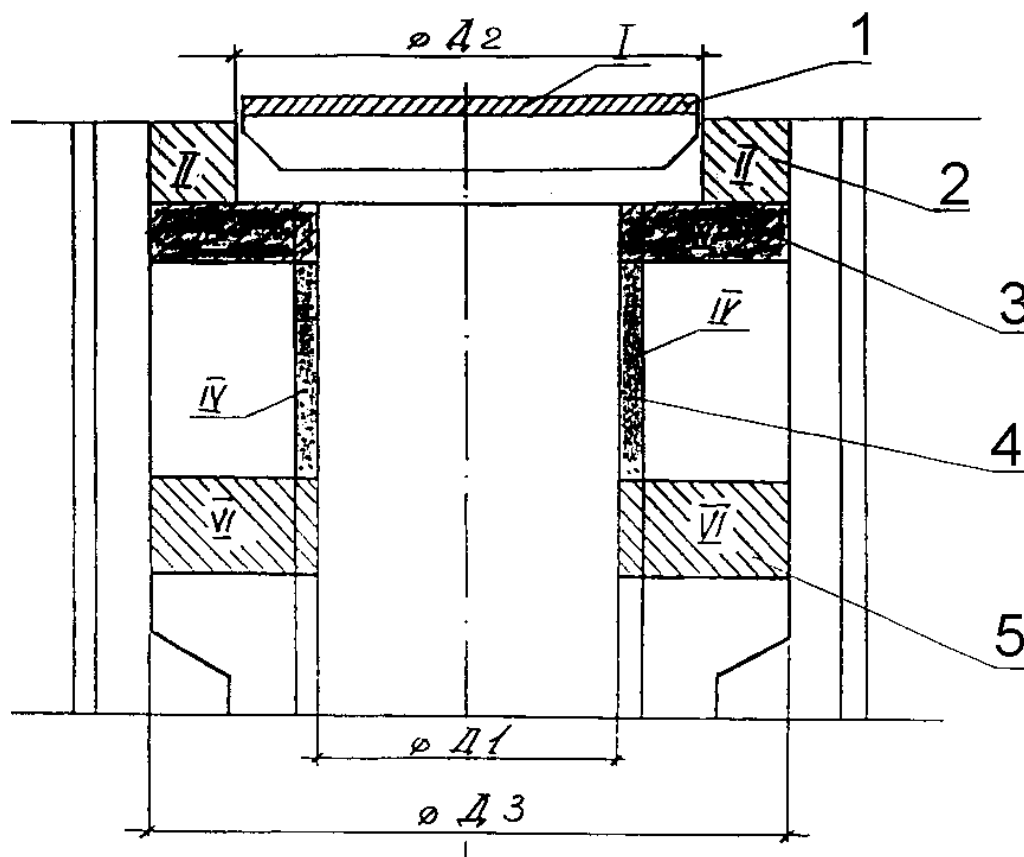


Рис. 1.15 Схема шахтной пусковой установки (ШПУ) и последовательность взрывных работ по ее разрушению (I-VI):

1 – крышка защитного устройства (ЗУ); 2 – защитное кольцо (ЗК); 3 – верхний силовой пояс (ВСП); 4 – внутренняя обечайка аппаратного отсека (АО); 5 – нижний силовой пояс (НСП)

1.4.2 Порядок выполнения работ по ликвидации шахтных пусковых установок

1.4.2.1 Ликвидация защитного кольца (ЗК). Работы по ликвидации защитного кольца выполняются после демонтажа оборудования со ствола параллельно с работами по ликвидации крышки с применением взрывных работ в следующей последовательности:

- удаление асфальта, зачистка металлических листов от хлама;
- газопламенная резка «заглушек» и отверстий под шпурсы;
- газопламенная резка ЗК и опорной рамы на 8 частей;

- бурение шпуров, продувка их сжатым воздухом;
- зарядание шпуров, взрывание зарядов ВВ, проветривание;

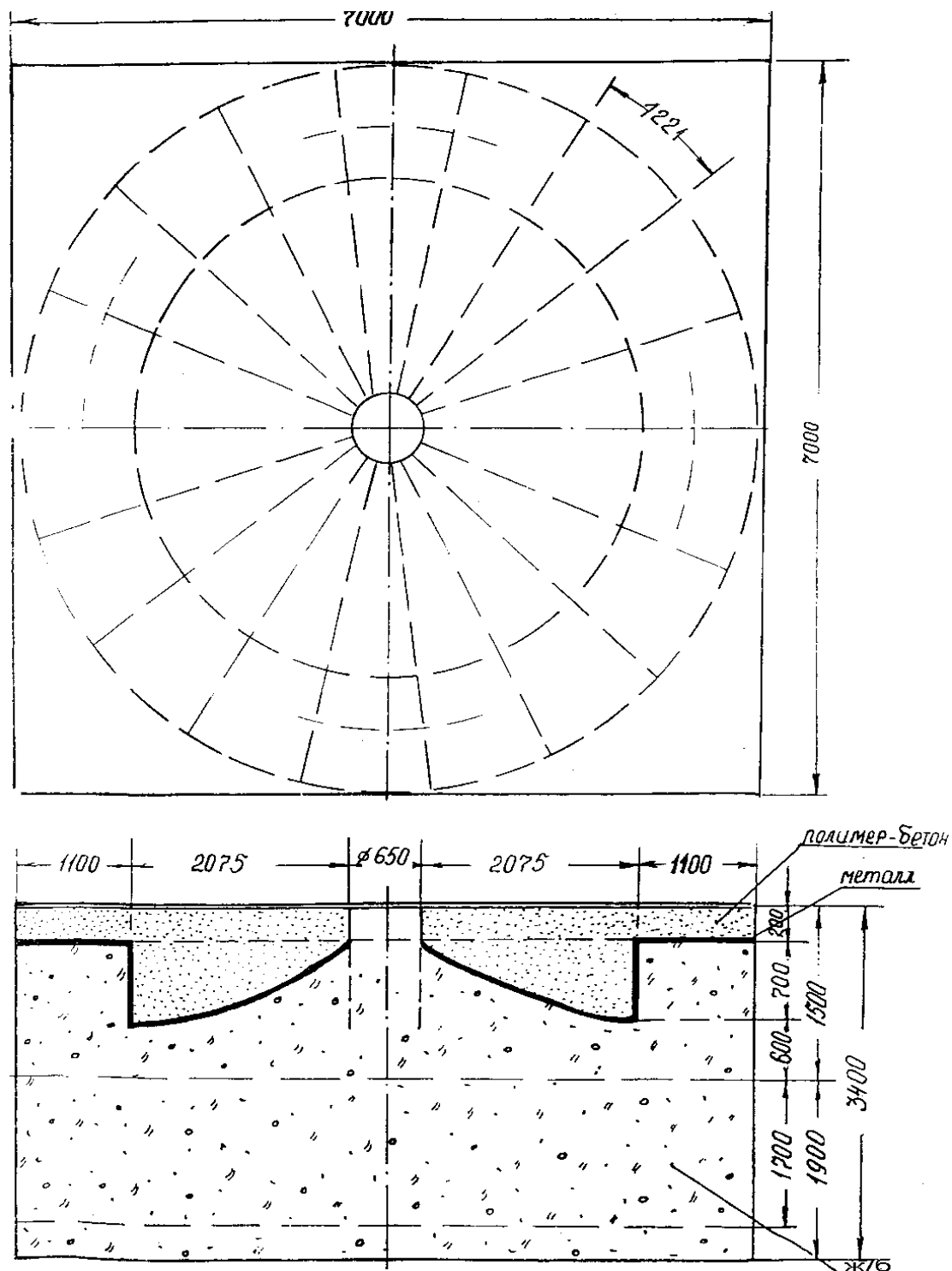


Рис. 1.16 Конструктивные особенности и размеры фундаментов антенн

- приведение объекта в безопасное состояние;

- сброс отбитой взрывом массы в ствол, уборка с площадки вокруг ШПУ и сбрасывание в шахту разбросанных взрывом кусков бетона и металла, наведение порядка на площадке;
- демонтаж автокраном взорванных секций металлической конструкции ЗК - при необходимости использовать газопламенную резку;
- доработка оставшегося бетона отбойными молотками или экскаватором с навесным гидроломом;
- зачистка верхнего листа верхнего силового пояса от отбитого бетона.

1.4.2.2 Ликвидация верхнего силового пояса (ВСП). Работы по ликвидации ВСП выполняются после окончания работ по ликвидации ЗК с применением взрывных работ в следующей последовательности:

- газопламенная резка верхнего листа;
- бурение шпуров, продувка их сжатым воздухом;
- зарядание шпуров, взрывание зарядов, проветривание;
- приведение взорванного объекта в безопасное состояние;
- сбрасывание отбитого бетона в ствол;
- демонтаж отбитых металлоконструкций с использованием газопламенной резки при их разделении на части.

1.4.2.3 Ликвидация конструкций аппаратурного отсека (АО). Работы по ликвидации АО производятся после ликвидации ЗК и ВСП заходками по 1,6 м в следующей последовательности:

- снятие с металлоконструкций АО (с помощью отбойных молотков) пенополиуретана и сбрасывание его в ствол;
- монтаж в стволе рабочего полка;
- установка лестницы для перемещения людей;
- установка ограждения безопасности;
- бурение шпуров первой заходки;
- демонтаж рабочего полка;

- производство взрывных работ по разрушению бетона в стакане внутренней обечайки;
- приведение объекта в безопасное состояние;
- монтаж рабочего полка на уровне верха второй заходки;
- разрезание газопламенной резкой внутренней обечайки на секции с оставлением целиков, выполнение монтажных отверстий;
- застропление секции на крюк автокрана, натяжка канатов;
- дорезка и демонтаж секции;

После демонтажа секций первой заходки аналогично с применением взрывных работ демонтируют секции второй заходки.

При наличии автокрана большой грузоподъемности (например, ТМ1500) предусматривается демонтаж внутренней обечайки без разделения на заходки и секции, двумя частями без применения взрывных работ.

Последовательность выполнения работ:

- вырезка и выдача металлоконструкции ниш амортизаторов;
- вырезка со стороны АО наружной стенки одной половины внутренней обечайки по всему периметру;
- уборка бетона из пространства между стенками обечайки;
- вырезка со стороны АО внутренней стенки (с оставлением целиков);
- застропление демонтированной части обечайки на крюк крана, например, ТМ1500, натяжка канатов;
- дорезка целиков, демонтаж обечайки и складирование ее на площадке.

Аналогично демонтируется вторая половина обечайки, и на площадке разрезаются металлоконструкции на мерные куски. Демонтаж перегородок АО производится с помощью огневых работ.

1.4.2.4 Ликвидация нижнего силового пояса (НСП). Работы по ликвидации нижнего силового пояса производятся после окончания работ по ликвидации АО с применением взрывных работ в следующей последовательности:

- монтаж в стволе рабочего полка;
- навеска лестницы и установка ограждения ШПУ;
- вырезка газопламенной резкой в каждой ячейке (между вертикальными ребрами жесткости) верхнего листа;
- бурение шпуров и продувка их сжатым воздухом;
- демонтаж рабочего полка, установка ограждения;
- зарядание шпуров и взрывание шпуровых зарядов ВВ;
- приведение объекта в безопасное состояние;
- сбрасывание отбитого бетона в шахту;
- дорезка газопламенной резкой металлоконструкций и выдача их на поверхность автокраном, например, СМТ-280.

1.4.3 Обоснование способов и параметров взрывания

Разрушению подлежат металлические и железобетонные конструкции различных конфигураций и размеров.

Для их разрушения принимается метод накладных и шпуровых зарядов, а способ взрывания – при помощи детонирующего шнура и электродетонаторов типа ЭДП и ЭДКЗД-ПМ или огневого взрывания зажигательными трубками, изготовленными из КД и ОШ.

1.4.3.1 Взрывание по разрушению железобетонных конструкций. Железобетонные (ж/б) конструкции специального назначения расположены на поверхности с незначительным углублением в грунт и выше отметки дневной поверхности.

Железобетонные фундаменты расположены на дневной поверхности с углублением в грунт на свою высоту.

Как правило, эти фундаменты и конструкции унифицированы, поэтому технология буровзрывных работ по их разрушению не отличается одна от другой. Упомянутые ж/б конструкции состоят из арматурной стали, заполненной раствором цемента марки 500.

Глубина заложения фундаментов колеблется от 1,4 до 4 м, а объем их составляет от 60 м³ в плотном теле до 200 м³.

Подготовка этих объектов к производству буровзрывных работ заключается в образовании дополнительной плоскости обнажения путем выемки грунта с одной из сторон на глубину заложения конструкции и шириной выемки не менее 0,5 м.

Взрывание железобетонных конструкций заключается в том, чтобы освободить арматуру (выбить бетон из арматуры) с последующей огневой или взрывом детонирующего шнура ее резкой. Для этого конструкции делятся на транспортабельные куски, по границам которых бурятся шпуровые заряды ВВ или применяются удлиненные накладные заряды. Предусматривается также взрывание всей площадки ж/б конструкции.

Шпуровой метод или метод накладных зарядов выбирается в зависимости от толщины железобетона.

При толщине конструкции менее 350...400 мм для выбивания бетона лучше всего применять накладные удлиненные патронированные заряды из аммонита 6ЖВ или Т-19. Масса заряда на 1 м длины разрушаемой ж/б конструкции определяется по формуле:

$$Q = K \cdot ZT^2 \ell_{\text{зар}}, \text{ кг}, \quad (1.9)$$

где $K = 5 \dots 8$ – коэффициент, зависящий от свойств железобетона;

Z – коэффициент, учитывающий внешнюю забойку (при взрывании без забойки $Z = 9$, при слое забойки не менее толщины ж/б конструкции $Z = 6,5$);

T – толщина заряда разрушаемой конструкции, м;

$\ell_{\text{зар}}$ – длина заряда, м.

Внешнюю забойку можно наносить цементным раствором.

Масса заряда ВВ на 1 м длины конструкции в зависимости от ее толщины на практике составляет:

Толщина конструкции, мм	100	200	300	350	400
Масса заряда на 1 м длины, кг	1,2	2,4	4,8	8,4	10,0...13,2

При толщине ж/б конструкции более 400 мм предусматривается шпуровой метод. Шпуры располагают по линии среза или по всей площади, глубиной не менее $2/3$ толщины конструкции или на всю толщину конструкции.

Величина забойки должна быть не менее $1/4$ глубины шпура.

В качестве ВВ рекомендуется применять аммонит 6ЖВ или Т-19 в патронах диаметром 36 мм. Поэтому диаметр шпуров $d_{ш}$ должен быть не менее 38...40 мм.

Расстояние между шпурами определяется по формуле:

$$a_{\phi} = (10...15)d_{\phi} . \quad (1.10)$$

В то же время эта величина должна приниматься не более 0,5 длины шпура ($a_{ш} \leq 0,5 \ell_{ш}$).

Расстояние между рядами шпуров (v) принимается равным расстоянию между шпурами в ряду, т.е. $v = a_{ш}$.

Эти расстояния уточняются опытными взрывами.

Параметры буровзрывных работ при $d_{ш} = 42$ мм для разных толщин железобетона сведены в табл. 1.3

Таблица 1.3

Параметры разрушения железобетонных конструкций взрывом ($d_{ш} = 42$ мм)

№№ ПП	Толщина ж/б конструкции	$\ell_{ш}$, м	$a_{ш} = v$, м	Величина шпурового	Длина заряда
----------	----------------------------	-------------------	--------------------	-----------------------	-----------------

				заряда ($q_{ш}$), кг	($l_{зар}$), м
1	2	3	4	5	6
1	0,4	0,3	0,15	0,15	0,14
2	0,6	0,5	0,25	0,30	0,28
3	0,8	0,8	0,4	0,60	0,56
4	1,0	1,0	0,5	0,75	0,70
5	1,2	1,2	0,6	0,90	0,84
1	2	3	4	5	6
6	1,4	1,4	0,6	1,05	0,98
7	1,5	1,5	0,65	1,20	1,12
8	1,6	1,6	0,65	1,35	1,26
9	1,7	1,7	0,65	1,35	1,26
10	1,8	1,8	0,70	1,50	1,4
11	1,9	1,9	0,75	1,50	1,4
12	2,0	2,0	0,8	1,50	1,4

Примечания:

1. Приведенные величины шпуровых зарядов уточняются опытными взрываниями.

2. Если толщина ж/б конструкции более 2 м, то ее разрушение производится послойно (слоями).

3. Глубина шпуров последнего слоя должна быть на 10...15% меньше толщины слоя.

Схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети при разрушении железобетона верхнего силового пояса (ВСП) приведена на рис. 1.17.

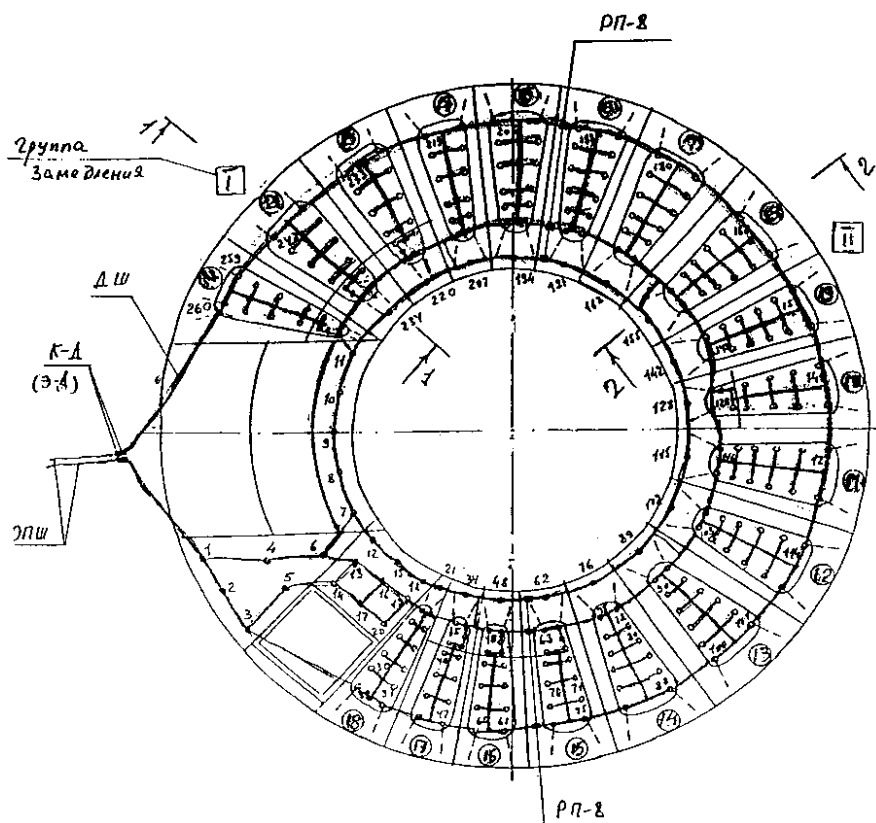


Рис. 1.17 Схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети при разрушении верхнего силового пояса

Параметры буровзрывных работ по разрушению внутренней обечайки аппаратного отсека (по пескоцементу) приведены в табл. 1.4, а схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети – на рис. 1.18.

Параметры буровзрывных работ по разрушению антенных фундаментов приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.4

Параметры буровзрывных работ по разрушению внутренней обечайки аппаратного отсека (на один взрыв)

№№ ПП	Наименование параметров	Ед. изм.	Количество
1	Толщина взрываемого слоя	мм	1600
2	Глубина шпуров	мм	1600
3	Диаметр шпуров	мм	42
4	Расстояние между шпурами	мм	400
5	Общее количество шпуров	шт.	46
6	Масса шпурового заряда ВВ	кг	0,9
7	Масса заряда на все шпуры	кг	41,4

8	Длина заряда	мм	810
9	Длина забойки	мм	790
10	Расход детонирующего шнура (ДШ) на 1 шпур	м	2
11	Расход ДШ на все шпуры	м	92
12	Расход ДШ на монтаж взрывной сети	м	20
13	Общий расход ДШ на взрыв	м	130
14	Расход зажигательных трубок (ЭД)	шт.	2
15	Длина зажигательной трубки	м	1,5
16	Безопасное расстояние по разлету осколков (максимальное)	м	400
17	Безопасное расстояние по УВВ на здания (максимальное)	м	180
18	Безопасное расстояние по сейсмике (максимальное)	м	126

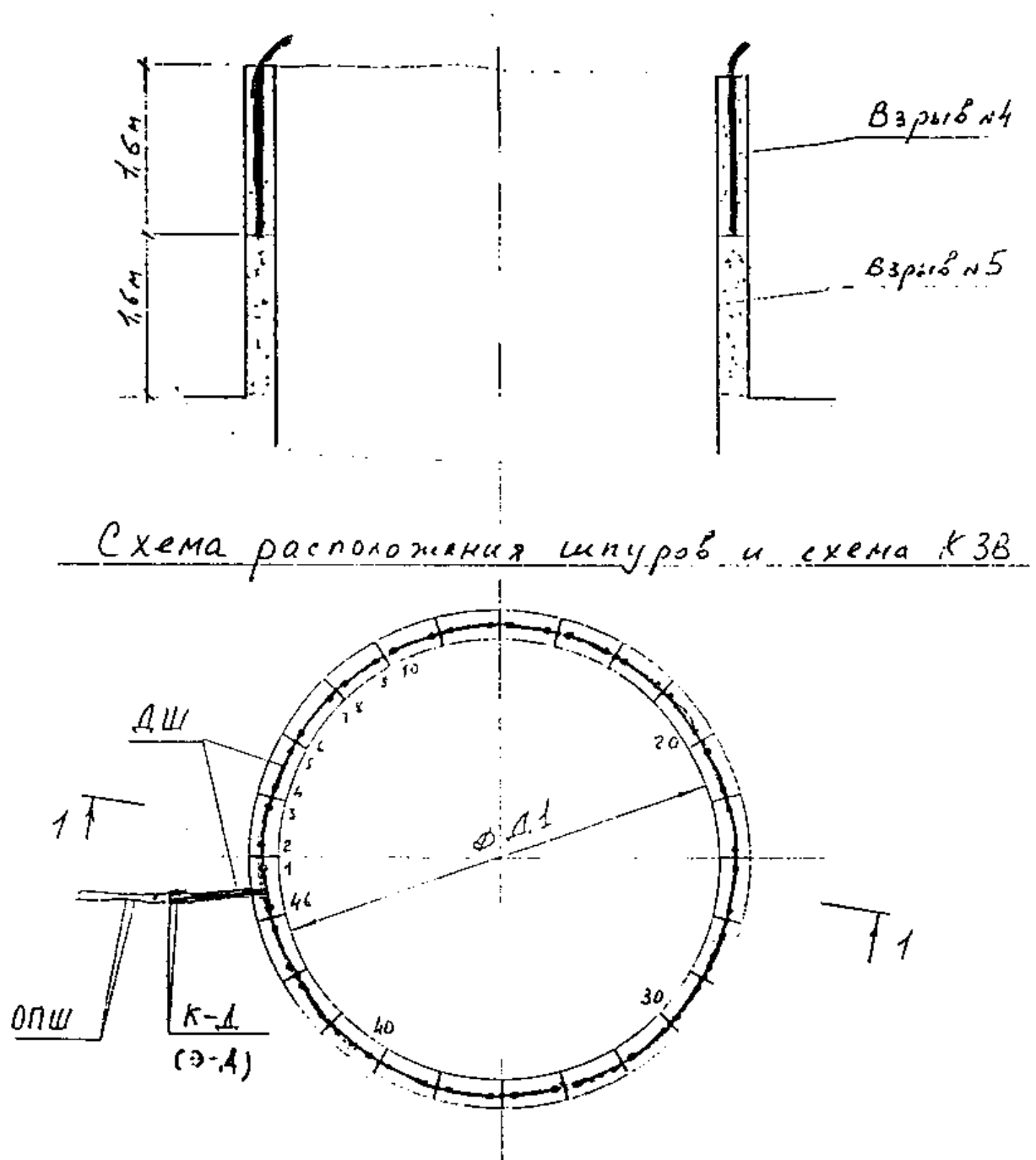


Рис. 1.18 Схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети при разрушении внутренней обечайки аппаратного отсека

1.4.3.2 *Взрывание по разрушению металлических конструкций.*
 Взрывание металлической конструкции толщиной более 15 мм предусматривается производить шпуровыми зарядами ВВ диаметром 36...40 мм. Шпуры располагаются на расстоянии 1,0...1,5 длины шпура, но не более, чем на 300...400 мм один от другого в ряду. Длина шпура принимается 1/2, 2/3 или 1,0 толщины металла в зависимости от условий взрываний. Длина

заряда ($\ell_{зар}$) принимается равной 0,7 длины шпура, длина забойки (ℓ_3) принимается равной 0,3 длины шпура (изготавливается из глины или сухого песка).

Таблица 1.5

Параметры буровзрывных работ по разрушению фундамента специальной конструкции

Наименование параметров	Ед. изм.	Значения параметров
Взрывание по полимербетону		
Глубина шпуров	м	0,2...0,7
Количество шпуров	шт.	180
Расстояние между шпурами	м	0,4
Расстояние шпуров от открытой поверхности	м	0,3
Расход ДШ	м	180
Расход ВВ	кг	40
Расход ЭД (КД)	шт.	4
Взрывание по железобетону		
Глубина шпуров:		
• вертикальных	м	1,5...1,0
• горизонтальных	м	2,7
Расстояние между шпурами:		
• вертикальными	м	0,8
• горизонтальными	м	0,9
Расстояние шпуров от открытой поверхности	м	0,3
Расход ДШ	м	400
Расход ВВ	кг	192

Накладные заряды предусматриваются при толщине конструкции до 15 мм. Масса накладного заряда определяется по формуле:

$$Q = K \cdot S, \text{ кг}, \quad (1.11)$$

где K – коэффициент, учитывающий свойства металлоконструкции (для стальных конструкций (вязкой стали) $K = 2,5 \text{ кг/м}^2$, для чугунных конструкций (серый чугун) $K = 1,7 \text{ кг/м}^2$);

S – площадь поперечного сечения конструкции, м^2 .

Для перебивания и пробивания стальных листов предусматривается использование кумулятивных зарядов. Диаметр кумулятивной полости определяется по формуле:

$$Dk = 1,5 \cdot h, \quad (1.12)$$

где Dk – диаметр кумулятивной полости, м;

h – толщина перебиваемого листа, м.

Наружный диаметр кумулятивного заряда (заряд изготавливается в форме цилиндра) определяется в соответствии с его массой, рассчитываемой по формуле (1.11).

Кумулятивную полость заряда облицовывают жестью толщиной 0,5...2,0 мм. Результаты расчета зарядов сведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Параметры буровзрывных работ для разрушения металлоконструкций взрывом

№ № ПП	Толщина металлоконструкций, мм	Метод взрывания шпуровой/накладной	Длина шпура, м	Расстояние между шпурами, м	Длина заряда, м	Масса заряда, кг	Длина забойки, м
1	5	накладные заряды	-	-	2,0	8,0	-
2	10	тоже	-	-	4,0	16,0	-
3	15	шпуровые заряды	0,10	0,10	0,07	0,075	0,03
4	20	тоже	0,13	0,15	0,10	0,100	0,03
5	25	-//-	0,17	0,20	0,12	0,120	0,05
6	30	-//-	0,20	0,25	0,14	0,140	0,06
7	35	-//-	0,23	0,30	0,16	0,160	0,07

Расчетные параметры уточняются опытным взрыванием.

В процессе проведения опытных взрываний при разрушении взрывом металлоконструкций уточненную массу накладных зарядов предусматривается определять по формуле:

$$Q = 10^{-3} G_m \cdot T^2 \cdot A_{л}, \text{ кг}, \quad (1.13)$$

где G_m – удельный расход ВМ (для стали – $7,7 \text{ кг/м}^3$, для чугуна – 5 кг/м^3);
 T – толщина металла, м;
 $A_{л}$ – ширина листа (длина реза), м.

Схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети приведена на рис. 1.19.

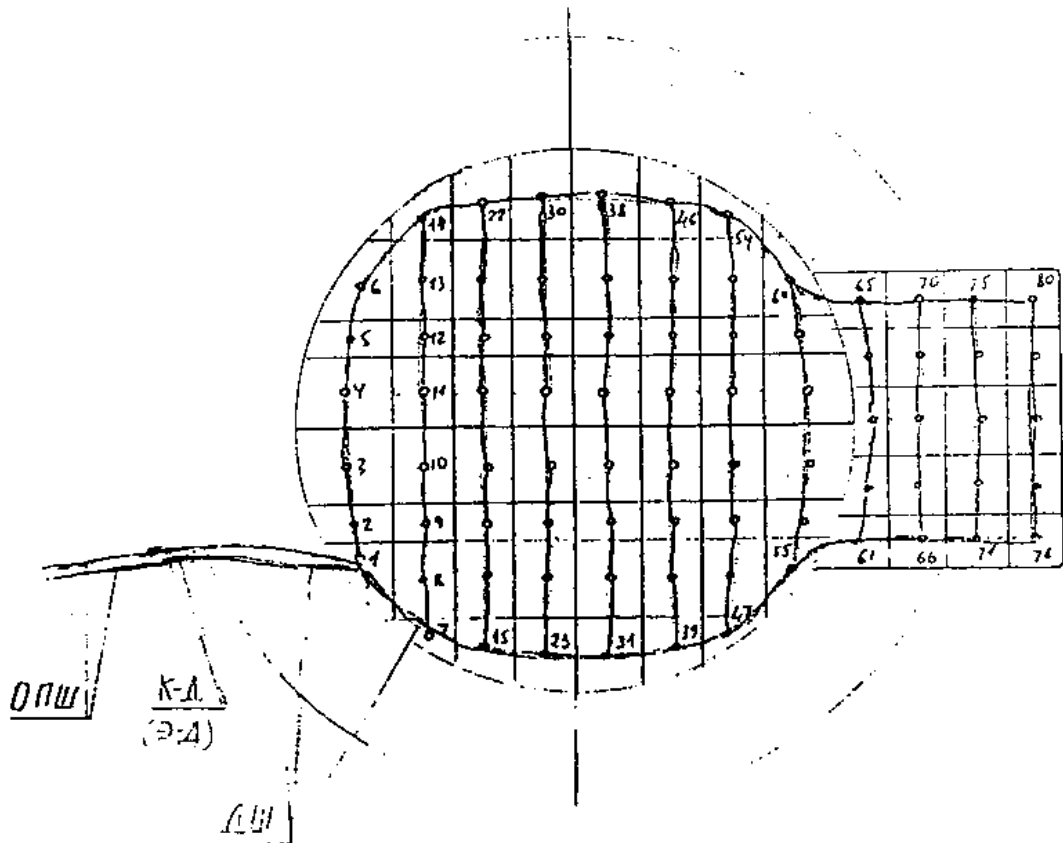


Рис. 1.19 Схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети при разрушении крышки защитного устройства (ЗУ)

Технология БВР при разрушении верхнего защитного (опорного) кольца ШПУ заключается в том, что при помощи огневой резки образуются круглые отверстия диаметром 1000 мм в металле в количестве от 18 до 20 штук, через которые бурятся вертикальные (в центре) и наклонные (на периферии) шпуры. Параметры БВР по верхнему опорному кольцу приведены в табл. 1.7.

Аналогично производятся БВР по верхнему и нижнему силовым поясам.

После очистки взорванного железобетона, удаления металла и арматуры производится (при необходимости) повторное бурение и взрывание участков, где недостаточно разрушены элементы конструкции (доработка).

Таблица 1.7

Параметры буровзрывных работ по разрушению верхнего защитного кольца

№№ ПП	Наименование параметров	Ед. изм.	Значения параметров
1	2	3	4
1	Мощность (толщина) взрываемого слоя	мм	1130
2	Величина недобура	мм	30
3	Глубина вертикального шпура	мм	1100
4	Глубина наклонного шпура	мм	1200
5	Диаметр шпуров	мм	42
6	Расстояние между шпурами в «кольце» (ячейке)	мм	400x400
7	Расстояние между центрами ячеек	мм	1100
8	Количество ячеек на объект	шт.	20
9	Количество шпуров (всего), в т.ч.	шт.	162
	• вертикальных	шт.	54
	• наклонных	шт.	108
10	Масса шпурового заряда на 1 шпур	кг	0,75
11	Масса заряда на все шпуры	кг	121,5
12	Масса заряда на ступень замедления	кг	61,5
13	Длина заряда из патрона ВВ (максимальная)	мм	680
14	Длина забойки	мм	420
15	Диаметр патронированного аммонита бЖВ и Т-19	мм	32... 36
16	Расход детонирующего шнура на один шпур	м	1,5
17	Расход детонирующего шнура на все шпуры	м	243
18	Расход ДШ на монтаж взрывной сети	м	120
19	Общий расход ДШ на взрыв	м	363
20	Расход зажигательных трубок (ЭД)	шт.	2...2
21	Безопасное расстояние по разлету осколков	м	400
22	Безопасное расстояние по сейсмике	м	255

23	Безопасное расстояние по УВВ на здания	м	180
24	Безопасное расстояние по УВВ на человека	м	66,0

1.5 Взрывные технологии в горячих массивах доменных и мартеновских цехов

1.5.1 Разрушение металлических массивов

Все шлаковые и металлические наплывы на металлическом массиве должны быть удалены взрывом. В качестве зарядной полости применяют рукава, образующиеся при прожигании металла кислородом.

Боевики должны изготавливаться только на месте производства взрывных работ.

При зарядании рукавов насыпью каждая порция ВВ не должна превышать 200 г. Уплотнение каждой порции в рукаве следует производить подталкиванием деревянного забойника (без ударов). Отрезки ДШ, вводимые в рукава, должны нарезаться заблаговременно.

Зарядание рукавов с лестниц должно производиться двумя взрывниками.

В случае пробитых сквозных рукавов они перед повторным заряданием в нижней части забиваются бумагой, асбестом и пр., а затем засыпаются песком на высоту 0,1...0,2 м. Подсыпка плотно утрамбовывается забойником.

При обнаружении отказов ликвидация их производится выдуванием забойки и введением в рукав нового боевика.

1.5.1.1 Разделка металлического «козла» (наросты на внутренней поверхности оборудования, образующиеся в результате застывания

металла). Руководство всем комплексом по разделке «козла» должно поручаться главному инженеру по ремонту доменной печи.

Перед разделкой «козла» его, при необходимости, следует оконтурить (обнажить). Оконтуривание следует выполнять послойно на глубину ниже взрываемого слоя «козла» на 0,3...0,5 м. При оконтуривании масса каждого заряда не должна превышать 0,5 кг.

При разделке «козла» следует использовать только рукава, глубина которых должна быть не более 0,9 толщины взрываемого слоя. При толщине «козла» более 1,5 м его необходимо разделять послойно.

Все фурменные окна (вход в металлическую трубу, через которую вдувается воздух в металлургическую печь), шлаковые летки (отверстие, устраиваемое в горне доменной печи выше чугунной летки для выпуска из печи шлака) должны быть надежно закрыты прочными металлическими щитами толщиной не менее 10 мм.

При разделке «козла» свободная от кладки внутренняя поверхность миксера должна быть надежно защищена от повреждений.

При разделке металлического «козла» масса одновременно взрываемых зарядов в шпурах не должна превышать 9 кг, а максимальная величина одного заряда – 4,5 кг.

Допускается, при условии охлаждения рукавов до температуры ниже 70⁰С, заряжать их насыпью. Длина забойки должна быть не менее 1/3 глубины рукава.

Общая масса одновременно взрываемых зарядов не должна превышать 30 кг (по ВВ).

Запрещается приступать к разделке «козла» до сооружения над ним надежных укрытий (согласно проекту) с целью предупреждения разлета осколков металла и шлака.

Проходы к взрываемому «козлу» должны иметь сечение не менее 0,8 х 1,5 м. Проходы не должны быть загромождены. Входы и выходы из доменной печи для взрывников должны быть обустроены мостками-

сходнями или трапами, исключаящими возможность скольжения по ним людей.

После взрыва и проветривания, но не ранее чем через 15 мин., руководителем взрывных работ совместно с руководителем ремонтной организации производится осмотр элементов печи, укрытия и места взрыва. При обнаружении отказавшего заряда должно быть принято совместное решение о порядке ликвидации отказа и устранения повреждений укрытия.

Допуск ремонтному персоналу на продолжение работ в районе произведенных взрывов выдает руководитель взрывных работ после осмотра места взрыва, отбора проб воздуха на содержание токсичных веществ и устранения (если в этом есть необходимость) неисправности конструкций укрытия.

1.5.1.2 Взрывные работы при ремонте миксера – металлургический агрегат для наполнения жидкого чугуна, его смешения и частичного удаления вредных примесей – имеет форму цилиндрического или грушевидного сосуда из листового железа, выложенного внутри огнеупорной футеровкой. Проект на производство взрывных работ при ремонте миксера дополнительно утверждается главным инженером предприятия, в ведении которого находится миксер.

При рыхлении огнеупорной кладки диаметр шпура должен быть не более 45 мм, а его глубина должна быть такой, чтобы между дном шпура и внутренней поверхностью кожуха миксера было расстояние не менее 0,3 м. Масса одновременно взрывааемых зарядов не должна превышать 2,1 кг, а максимальная масса одного шпурового заряда – 0,7 кг.

Перед началом производства взрывных работ необходимо:

- отключить газ и демонтировать газовые горелки обогрева миксера;
- охладить металлический «козел» до температуры менее 200⁰С;
- при необходимости снять одну или две торцевые стенки миксера;

- разрушить всю свободную от металлического «козла» легко поддающуюся ломке огнеупорную кладку и удалить кирпич из миксера на нижнюю площадку;
- установить защитные укрытия.

Сливной носок, амбразуры для горелок и открытые торцевые проемы миксера должны быть закрыты прочными металлическими щитами. Щиты должны прочно крепиться к кожуху миксера.

Защитные устройства должны выступать за периметр закрываемого проема на расстояние не менее 1 м.

Между защитным устройством и кожухом миксера должен (при необходимости) оставаться проход для взрывников шириною 0,8 м.

1.5.1.3 Дробление чугуновых изложниц (формы, заполняемые расплавленным металлом при его разливке) гидровзрывом. Дробление изложниц производится в бронееме. Одновременно разрешается дробить только одну изложницу. Во время дробления изложниц выходы из бронеемы должны иметь защитные устройства, предотвращающие вылет осколков.

Подготовка зарядов для дробления изложниц производится в зарядном помещении (будке).

Шпагат (веревка), на котором опускаются заряды в изложницу, должен выдерживать груз не менее 25 кг. Каждый заряд (часть заряда), опускаемый в изложницу, должен быть гидроизолирован.

Проем в крышке бронеемы, через который ведется зарядание, должен быть огражден специальными перилами или другими приспособлениями, предотвращающими падение взрывника в бронеему.

Подсоединение зажигательной трубки к ДШ должно производиться за пределами бронеемы после закрытия крышки бронеемы, отъезда крана на безопасное расстояние и удаления подкрановых рабочих в укрытие.

Основы техники безопасности при взрываниях в бронееме изложены в подразделе 4.5.3.

Длина зажигательной трубки должна быть не менее 60 см.

1.5.2 Основные правила безопасности производства взрывов

Разрушение горячих массивов должно выполняться в соответствии с инструкцией, согласованной с Госгорпромнадзором Украины.

Для взрывания в горячих массивах разрешается применять ВВ только группы D (кроме дымного пороха); электрический способ взрывания применять запрещается.

При температуре в шпуре (скважине, рукаве) до 80°C разрешается зарядание без термоизолирующей оболочки. В этом случае боевик должен дополнительно упаковываться в пергаментную, крафт-целлюлозную или оберточную бумагу. Необходимо проводить испытания надежности упаковки боевика помещением зажигательной трубки в шпуре. Если детонатор взорвется ранее 5 мин., то толщина упаковки должна быть увеличена.

Зарядание и взрывание зарядов в шпурах при температуре свыше 2000°C запрещается.

При температуре более 80°C весь заряд должен помещаться в единую термоизолирующую оболочку. Взрывание необходимо проводить при помощи зажигательной трубки с длиной огнепроводного шнура не менее 60 см, обернутого вместе с дульцем капсюля-детонатора в общую оболочку. Запрещается скручивание и свертывание огнепроводного шнура внутри изолирующей оболочки патрона-боевика и вне ее.

Применение наружных зарядов в горячих массивах с температурой свыше 80°C не разрешается.

Зарядание и забойка должны проводиться двумя взрывниками в присутствии лица технического надзора, руководящего взрывными работами.

Если в течение 4 мин. взрывники не успели закончить зарядание всех шпуров, то лицо, руководящее взрывными работами, обязано подать команду о немедленном прекращении зарядания и удалении людей в безопасное место.

Перед заряданием шпуров (скважин, рукавов) в горячих массивах обязательна проверка их длины и диаметра взрывниками, а степени охлаждения – специалистами участка взрывных работ.

Длину и диаметр шпура (скважины, рукава) контролируют шаблонами. Диаметр шаблона должен на 5...10 мм превышать диаметр используемых зарядов. В случае необходимости мастеру участка взрывных работ разрешается до зарядания корректировать массу взрывчатых веществ или количество зарядов.

Результаты измерений температуры перед заряданием заносятся в специальный пронумерованный журнал. Замер температуры должен производиться у дна шпура (скважины, рукава) исправными и проверенными термометрами или термопарами, согласно инструкций по их эксплуатации.

Боевики для взрывания горячих массивов должны изготавливаться в здании подготовки ВМ или в местах, установленных руководителем предприятия или главным инженером по согласованию с местными органами Госгорпромнадзора Украины, но не ближе 50 м от места зарядания.

Запрещается взрывание зарядов ВВ в горячих массивах без забойки. Для забойки разрешается применять только хорошо просеянный песок или глину. Уплотнение забойки запрещается.

При взрывании в горячих массивах запрещается применять рассредоточенные заряды, имеющие промежуточную инертную забойку (песок, глина) или воздушные промежутки.

Одновременное взрывание группы зарядов в горячих массивах разрешается производить только с применением ДШ. При взрывании одиночных зарядов допускается огневое взрывание.

Части ДШ или огнепроводного шнура (ОШ) за пределами заряда должны быть термоизолированы шнуровым асбестом толщиной не менее 6 мм.

Дублирование взрывной сети при применении ДШ обязательно.

Зажигательную трубку следует подсоединять к магистрали ДШ в месте, удобном для отхода взрывников в укрытие.

При температуре в шпуре 81...200⁰С разрешается взрывать за один прием двумя взрывниками не более одного заряда, при температуре 45...80⁰С – не более пяти зарядов. При температуре 45⁰С и ниже количество взрываемых зарядов не ограничивается.

После каждого взрыва в закрытых помещениях допуск взрывников на место взрывов для повторного взрывания разрешается только после полного проветривания, осмотра места работ руководителем взрывных работ совместно с руководителем работ по ремонту.

1.5.2.1 Взрывные работы в доменных цехах. В доменных цехах разрешается выполнять следующие работы: образование проемов (окон) в кладке, обрушение настывлей, рыхление огнеупорной футеровки, рыхление гарниссажа и разрушение кладки лещади, разделку металлического «козла» (см. 1.5.1.1) и разрушение кладки воздухонагревателей.

Взрывные работы внутри печи допускаются при условии выполнения необходимых мероприятий по очистке воздуха от ядовитых газов и контроля за содержанием угарного газа в местах производства взрывных работ.

На период производства взрывных работ начальником ремонта для устранения возможных повреждений на печи должна быть организована бригада в составе водопроводчика, электрика, монтажника, газоспасателя, а при необходимости – и рабочих других специальностей. Бригада возглавляется лицом, назначенным приказом или распоряжением, и выполняет указания руководителя взрывных работ. Во время взрывных работ бригада должна находиться вне опасной зоны, а руководитель взрывных работ должен иметь с ней связь.

Руководитель взрывных работ на доменной печи должен иметь прямую телефонную или радиофицированную связь с диспетчерами доменного цеха и предприятия.

Перед образованием проема (окна) в кладке доменной печи против него должно быть устроено ограждение из стальных листов толщиной не менее 10 мм. Ограждение должно быть прочным и полностью исключать разлет осколков от взрыва.

1.5.2.1.1 Обрушение настывлей и огнеупорной футеровки – (выложенные огнеупорным кирпичом, либо защищенные другими огнеупорными материалами, подверженные действию высоких температур внутренние поверхности печей). До ведения взрывных работ доменная печь должна быть выдута с понижением уровня шихтовых материалов на 1 м ниже нижней границы настывли.

Кольцевая настывль должна быть вначале разорвана по вертикали не менее чем в двух местах, после чего ее подбивают у основания по горизонтали.

При отходе настывли от кладки или смещения ее относительно оси шпура в кладке повторные взрывы должны вестись с использованием зарядов, заключенных в жесткие гильзы. Подача зарядов в шпур должна производиться с помощью деревянных шестов, к которым крепят заряд.

Неоднократные простреливания шпуров при обрушении настывли приводят к увеличению их диаметра. В этом случае для производства последующих взрывов шпуры должны быть тщательно забиты огнеупорной глиной, в которой следует пробурить шпуры необходимого диаметра.

Запрещается ведение взрывных работ при появлении пламени между кладкой и отошедшей в результате ведения взрывных работ настывлью до его устранения.

Газоводопаропроводы в зоне взрывов при обрушении футеровки должны быть ограждены стальными листами.

Подготовку и зарядание шпуров для обрушения настывлей и спекшейся огнеупорной футеровки с расположением проемов выше 1,7 м уровня кольцевой площадки необходимо выполнять со специально оборудованных подмостей шириной не менее 0,8 м и длиной не менее 1,5 м с перилами.

1.5.2.1.2 Рыхление гарниссажа и разрушение кладки лещади (нижняя часть доменной печи в виде железобетонного массива). При рыхлении гарниссажа в фурменной зоне против фурменных окон, у которых ведут взрывные работы, со стороны защищаемых объектов крепят металлические листы толщиной не менее 2 мм на расстоянии 0,8...1,0 м от окон. Края листов должны выступать за периметр окна с каждой стороны не менее, чем на 0,5 м.

При производстве взрывных работ в горне печи место взрыва укрывают стальными листами толщиной не менее 10 мм.

Зажигательные трубки подсоединяют к магистрали ДШ в удобном для отхода взрывников месте, а при работах в зоне скреперования это место должно быть за пределами горна.

При разрушении кладки лещади взрывные работы должны производиться последовательно в каждом из проемов. Производство взрывных работ одновременно в двух проемах недопустимо.

1.5.2.1.3 Разрушение кладки воздухонагревателей. Подготовка и ведение взрывных работ на воздухонагревателях производится только при наличии разрешения газоспасательной службы и в присутствии лица газоспасательной службы, при этом должен оформляться стандартный наряд-допуск на проведение работ в газоопасных местах.

Напротив технологических окон должны быть закреплены листы толщиной не менее 3 мм на расстоянии не менее 0,8 м от окон. Края листов должны выступать за периметр окна с каждой стороны не менее, чем на 0,5 м. Крепление защитных приспособлений должно исключать их обрушение (нарушение) при взрыве.

Перед началом взрывных работ по рыхлению насадки воздухонагревателя предварительно должна быть обрушена кладка купола.

Общая масса взрываемых зарядов не должна превышать 10 кг.

Расстояние между кожухом брони воздухонагревателя и зарядами должно быть не менее 1 м.

Взрывание ведется шпуровыми зарядами сверху вниз. Допускается использование имеющихся ячеек. При этом заряд подвешивается в ячейке на проволоке по центру ячейки.

Место укрытия взрывников допускается устраивать за соседним воздухонагревателем.

1.5.2.2 Взрывные работы при ремонтах мартеновских печей. Во избежание разлета осколков при рыхлении огнеупорной кладки верхнего строения печи запрещается разрушать распорноподвесной свод и демонтировать завалочные окна до окончания взрывных работ.

При наличии главного свода взрывание задней и передней стенок ванны должно вестись с наружной стороны при закрытых завалочных окнах. При взрывании подины с заходом в ванну при самопроизвольно обрушенном главном своде последний должен быть удален, а подина должна быть очищена от боя кирпича.

При взрывании огнеупорной кладки ванны при обрушенном своде место взрыва после заряжания и забойки шпуров песком должно накрываться металлическими листами толщиной не менее 2 мм с пригрузом, согласно проекту, при этом количество шпуровых зарядов должно быть не более двух.

При взрывании ванны с обрушенным сводом опасная зона должна приниматься с учетом разлета осколков.

Пульты управления ремонтируемой и смежной печей должны быть надежно защищены от повреждений, согласно проекту. В трубопроводах, находящихся в зоне взрывных работ, давление должно быть понижено до пределов, допустимых технологией производства, или они должны вовсе отключаться на время взрывов.

При рыхлении шлака в шлаковиках и зашлакованной насадке в регенераторах должны предусматриваться меры, исключаящие разлет осколков при взрыве.

При отсутствии свода шлаковика или регенератора место взрывных работ должно укрываться металлическими листами. При наличии свода

после каждого взрыва взрывник и мастер по ремонту металлургических печей осматривают свод. Нарушенную часть свода обрушают или закрепляют.

При рыхлении шлака в шлаковиках вертикальные каналы должны перекрываться плотными защитными перекрытиями, препятствующими падению кирпичей и случайных предметов в шлаковик. До перекрытия вертикальных каналов вход в шлаковики для производства взрывных работ запрещается.

Взрывные работы по рыхлению прошлакованной насадки регенераторов производятся аналогично п. 1.5.2.1.3.

Производство взрывных работ во время выпуска плавки или заливки чугуна на соседней печи запрещается.

1.5.2.3 Взрывные работы при ремонте электропечей. Места взрывных работ должны надежно перекрываться защитными устройствами.

Пульты управления ремонтируемой и смежных электропечей должны быть надежно укрыты щитами.

Взрывные работы, как правило, должны выполняться для демонтажа верхней части печи. При невозможности выполнения этого условия шахта печи должна быть перекрыта, а отверстия и проемы в кожухе печи надежно закрыты металлическими щитами.

1.5.2.4 Взрывные работы в прокатных, литейных и других цехах. В прокатных, литейных и других цехах разрешается посредством взрыва рыхление огнеупорной кладки и шлака при ремонтах плавильных и нагревательных печей и колодцев.

При выполнении взрывных работ следует руководствоваться основными положениями пункта 1.5.2.

Метод производства взрывных работ и способ взрывания определяются в каждом случае проектом (паспортом).

В сталеплавильных цехах взрывным способом разрешается выполнять следующие работы: разрушение огнеупорной кладки и шлака по верхнему и

нижнему строению мартеновских печей, футеровки электропечей, миксеров (см. 1.5.1.2). Посредством взрыва, в случае необходимости, допускается разделка «козла» в миксере (см. 1.5.1.1).

1.6 Конструкция и параметры камуфлетных зарядов для ликвидации строительных конструкций в стесненных условиях

Производство взрывных работ в городских условиях (густонаселенном районе), вблизи транспортных магистралей и в других стесненных условиях, традиционными методами сопряжено с целым рядом сложностей и опасностей. Травмирующими факторами являются: разлет кусков взорванной массы, ударная и акустическая воздушные волны, сейсмические волны, залповый выброс в атмосферу ядовитых газов взрыва (окислов азота и оксида углерода).

Одним из направлений решения данной проблемы является применение способа рыхления твердых материалов камуфлетным взрыванием, что позволяет не только предотвратить разброс взорванной массы, но и соблюсти принятые нормы техногенно-экологической безопасности.

Сущность камуфлетного взрывания состоит в том, что каждый шпуровой заряд ВВ взрывается в режиме камуфлета, т.е. без выброса забойки из шпура, а общий расход одновременно взрываемого комплекта шпуровых зарядов ВВ рассчитывается из условий рыхления обуренного массива (рис. 1.20).

1.6.1 Длина забойки из сыпучих материалов для обеспечения камуфлетного взрывания

Условие камуфлетного взрывания шпурового заряда ВВ при применении забойки из сыпучих материалов можно записать в следующем виде:

$$\ell_3 = \ell_{з.кам} + h_3, \quad (1.14)$$

где ℓ_3 – общая длина забойки, м;

$\ell_{3,кам}$ – длина забойки, которая в результате уплотнения взрывом шпурового заряда ВВ способна противостоять давлению газов взрыва, м;

h_3 – протяженность неуплотняющегося при взрыве шпурового заряда ВВ устьевого участка сыпучей забойки, м.

Параметр $\ell_{3,кам}$ определяется путем численного решения следующего уравнения:

$$\ell_{\text{сэд}} = \frac{0,86 \cdot P_{\text{г}} \cdot (n^2 - 1) \cdot \ell_{\text{с.э.а.и}} \cdot (1 + n \ell_{\text{с.э.а.и}})}{\ddot{A}^2 \cdot (\rho_s - \rho_3) \cdot \left(\frac{d_{\text{сэд}}}{d_{\phi}}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{сэд}}}{\rho_{\text{с}}}\right)}, \quad (1.15)$$

где $P_{\text{г}}$ – усредненное давление газов взрыва в шпуре (для аммонитов БЖВ и Т-19 в патронах диаметром 36 мм, взрывааемых в шпурах диаметром 42 мм, $P_{\text{г}} = 28,52 \cdot 10^8$ Па);

n – показатель политропы;

D – скорость детонации, м/с;

ρ_3 – насыпная плотность забойки, кг/м³;

ρ_s – физическая плотность забоечного материала, кг/м³.

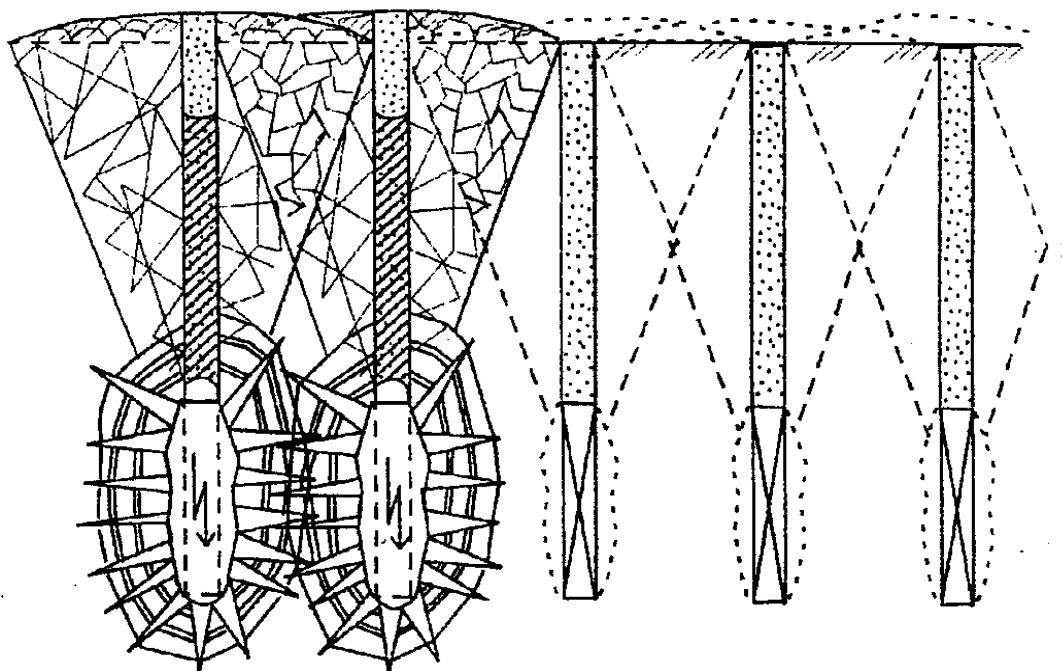


Рис. 1.20 Принципиальная схема рыхления массива взрывом камуфлетных зарядов ВВ

Уравнение (1.15) решается методом последовательных приближений.

Параметр h_3 определяется по формуле:

$$h_3 = 5862,6 \cdot d_\phi^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_\phi}{\rho_\phi}} - 0,25 \cdot \ell_{\text{зар}} - 0,50 \cdot \ell_{\text{зар}} \quad (1.16)$$

где $\ell_{\text{зар}}$ – длина шпурового заряда ВВ, м.

Длина шпура определяется по формуле:

$$l_{\text{ш}} = l_3 + l_{\text{зар}} \quad (1.17)$$

В табл. 1.8 сведены результаты расчета длины шпура и сыпучей забойки из хлорида натрия с дисперсностью основной массы частиц порядка 2,5 мм ($\rho_3 = 1100 \text{ кг/м}^3$, $\rho_s = 2160 \text{ кг/м}^3$) при взрывании аммонитами 6ЖВ или Т-19 различной массы.

Таблица 1.8

Параметры камуфлетного взрывания шпуровых зарядов ВВ

Параметры шпурового заряда ВВ		Составляющие длины забойки		ℓ_3 , м	$\ell_{\text{ш}}$, м
$q_{\text{ш}}$, кг	$\ell_{\text{зар}}$, м	$\ell_{\text{з.кам}}$, м	h_3 , м		
1	2	3	4	5	6
0,90	0,81	1,23	0,16	1,39	2,20
1	2	3	4	5	6
0,60	0,54	0,99	0,21	1,20	1,74
0,30	0,27	0,72	0,24	0,96	1,23
0,20	0,18	0,62	0,23	0,85	1,03
0,15	0,14	0,57	0,22	0,79	0,90

1.6.2 Опыт применения камуфлетных зарядов для валки железобетонных колонн

Параметры технологии разработаны кафедрой «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого национального технического университета и проверены при производстве буровзрывных работ по валке железобетонных колонн в ликвидируемом здании подъемной машины ствола

№ 5 шахты им. А.Б. Батова. В процессе изложения этого опыта показаны возможные недостатки разработанной технологии и приведены пути их устранения. Прежде всего приведем техническое описание объекта.

Длина здания подъемной машины - 37 м, ширина - 30 м, высота - 12,6 м. Высота колонн - 9,4 м. Здание подъемной машины каркасного типа и для его обрушения необходимо было разрушить (подбить) 12 несущих и 4 одиночных железобетонных колонн, расположенных как по периметру здания, так и внутри здания (рис. 1.21). Поперечное сечение несущих колонн 510x820 мм, а одиночных - 510x510 мм. Колонны вмонтированы в фундаментные блоки ниже нулевой отметки до 1,5 м. Колонны армированы каркасом из 12 сваренных между собой металлических стержней (арматурой) диаметром 10 и 15 мм. Арматурный каркас расположен по периферии колонн - толщина защитного бетонного слоя равна примерно 15...20 мм. Тонкостенные железобетонные панели сняты, колонны со всех сторон имеют свободный доступ.

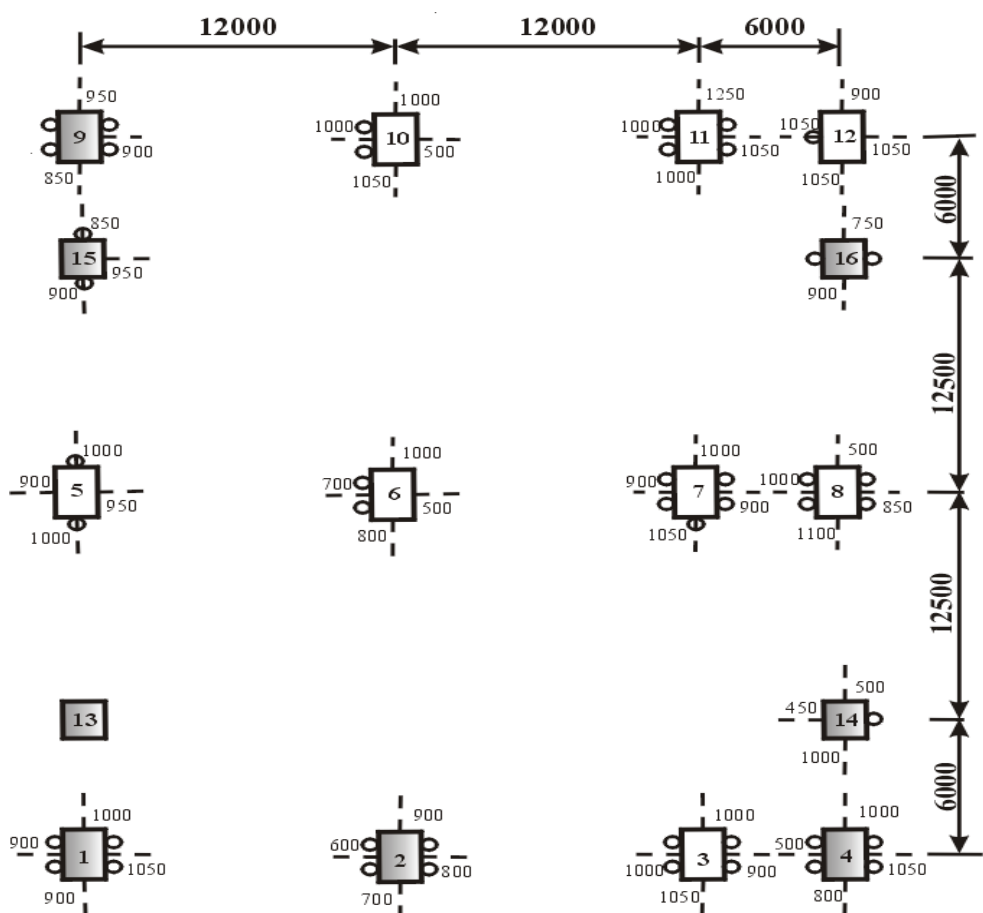



Рис. 1.21 План здания подъемной машины ствола № 5 шахты им. А.Б. Батова:

- № 1-12 – несущие ж/б колонны;
 № 13-16 – одиночные ж/б колонны;
- 1000 – пробуренные под основание колонн шпур с указанием их длины;
- – схематическое изображение на колоннах водонаполненных полиэтиленовых сосудов с зарядом ВВ;
-  – колонны, которые не подверглись валке после взрывания

В процессе проведения промышленных взрываний камуфлетным способом в качестве ВВ применялся аммонит Т-19 в патронах диаметром 36 мм и массой 0,3 кг. В каждом шпуре размещался один патрон ВВ. В качестве забойки шпуров применяли грубодисперсный хлорид натрия. Забоечный материал в шпур подавался самотеком с таким расчетом, чтобы он заполнял всю свободную от заряда его часть, в том числе радиальный зазор между поверхностью патронов ВВ и стенками шпура.

Целью взрываний было установление параметров камуфлетных зарядов и схемы их расположения, при которых достигается отделение основания колонны от фундамента и выброс ее из воронки взрыва без разлета взорванной массы. Такой подбор колонн по своей технической сути является ничем иным как их корчеванием (по аналогии с корчеванием пней).

Подбой (корчевание) железобетонных колонн производился путем взрывания комплекта шпуровых зарядов ВВ в фундаментных блоках под каждой колонной (рис. 1.22).

Бурение шпуров под колоннами производилось перфораторами типа ПП50В с пневмоподдержкой П-8. Питание перфораторов сжатым воздухом осуществлялось от передвижного компрессора типа ДКУ с влагомаслоотделителем ООМ-200 через гибкие шланги диаметром 25 мм. Компрессор устанавливался в 20 м от здания. Бурение шпуров производилось двумя проходчиками одним перфоратором. Один проходчик управлял перфоратором, второй производил забуривание и помогал перемещать перфоратор.

Диаметр шпуров был равен 41 мм.

Для обеспечения камуфлета в этих условиях взрывания длина шпуров должна быть равна не менее 1,2 м (см. табл. 1.8), из которых забойка составляет 0,94 м. Причем, вся необходимая для камуфлета длина забойки состоит из двух участков: примыкающего к заряду участка, который при взрыве уплотняется и собственно обеспечивает камуфлет, и устьевого (так называемого паразитного) участка, который не уплотняется в результате действия волны разрежения (откольных явлений). В данном случае этот неуплотняющийся устьевой участок был равен 0,21 м (см. табл. 1.8). Наличие арматуры в колоннах не позволяло пробурить все шпуры проектной длины. Фактически под каждой колонной на расстоянии 10...20 мм от нее под углом порядка 80° к горизонтали было пробурено 2...4 шпура длиной 0,50...1,25 м каждый. Поэтому для обеспечения камуфлета в этих условиях было принято решение искусственно уменьшить длину устьевого неуплотняющегося участка забойки. Для этого устье каждого шпура было прикрыто кусками разрушенной массы, которые выполняли роль экрана для волны разрежения. Этот прием должен был уменьшить длину шпура, при которой достигается камуфлет, с 1,2 м до 1,0 м.

Инициирование зарядов ВВ осуществлялось детонирующим шнуром типа ДШВ, подрыв которого производился посредством электродетонаторов мгновенного действия типа ЭДП.

Все выходящие из шпуров отрезки ДШ подсоединялись (морским узлом или с помощью изоленды, тесьмы, шпагата) к магистрали из детонирующего шнура, которая в свою очередь скреплялась с электродетонатором ЭДП. В последнем случае между отдельными колоннами в магистрали ДШ устанавливался пиротехнический замедлитель РП-92. Причем, величина замедления между взрывами зарядов в колонне была принята равной 50 мс при общем времени замедления равном 400 мс.

Все заряды ВВ в здании подъемной машины были взорваны в два приема. При первом приеме взрывались заряды колонн № 5...8 (см. рис.

1.21), при этом обрушилось перекрытие здания. При втором приеме взрывались заряды остальных колонн, (№ 1...4; 9...16), которые к этому времени оказались уже одиночными (не несущими) (см. рис. 1.21).

Анализ результатов взрывания, проведенных на шахте им. Батова, показал следующее.

Корчевание одиночных железобетонных колонн (отделение основания колонн от фундамента, выброс колонн из воронки взрыва и их валка) достигается при взрывании в фундаменте под их основанием 3...4 камуфлетных зарядов (колонны № 3; 10; 11) массой 0,3 кг каждый, т.е. при общем расходе ВВ равном 0,9...1,2 кг ($2,2...2,9$ кг/м² поперечного сечения колонны) и при дополнительном взрывании на поверхности каждой из них накладных зарядов в водонаполненной полиэтиленовой оболочке общей массой 3,6 кг (рис. 1.23).

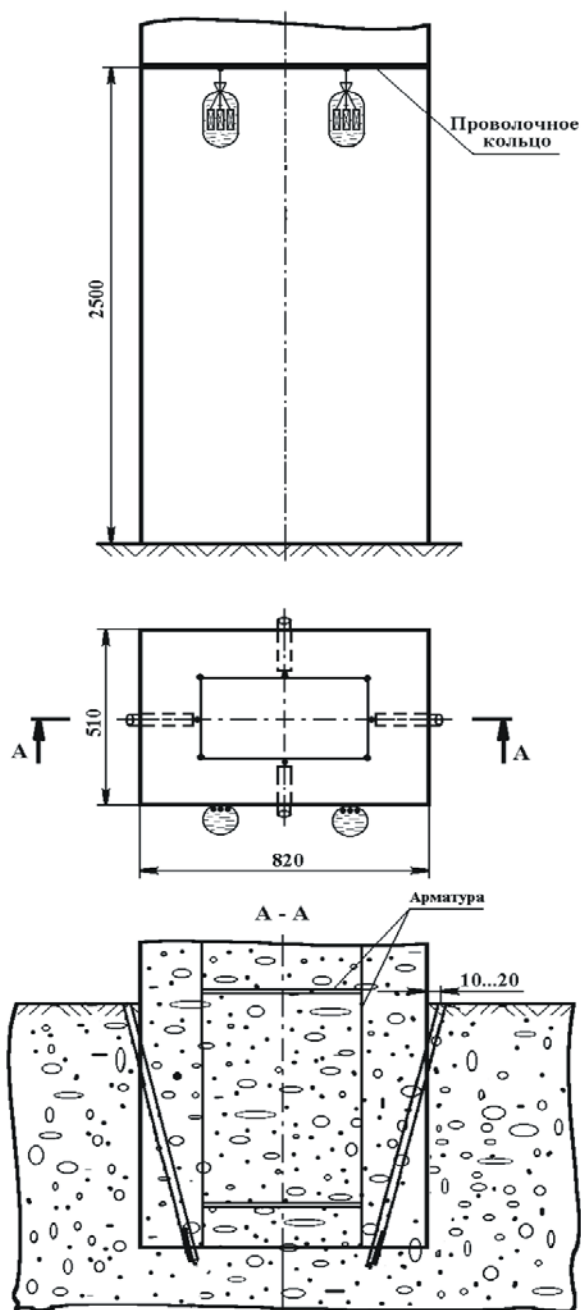


Рис. 1.22 Схема подбоя железобетонных колонн взрывом камуфлетных зарядов и зарядов в водонаполненной полиэтиленовой оболочке

При этом в выкорчеванном конце колонн бетон был выбит из арматуры на длине 0,4...0,5 м, а концы металлических стержней были согнуты. Следует отметить, что воронка взрыва под этими колоннами была практически полностью заполнена разрушенной массой, что свидетельствует о взрыве зарядов ВВ в режиме рыхления, а не выброса.

В условиях, когда под основанием колонн заряды взрывались не в камуфлетном режиме (колонны № 2; 9; 15; 16) или же взрывалось под ними не более двух камуфлетных зарядов ВВ (колонны № 1; 4; 14), не было достигнуто не только корчевание колонн, но и их валка, несмотря на то, что на их поверхности взрывались наружные заряды ВВ. В фундаменте вокруг этих колонн была образована кольцевая воронка выброса.

Не было достигнуто и корчевание колонны № 12, под которой взрывалось 3 камуфлетных заряда, но все шпурсы были заполнены водой. Этот опыт показал, что режим камуфлета в шпурах, заполненных

водой, невозможно обеспечить по крайней мере при критериальных условиях, установленных для сухой (влажной) сыпучей забойки (см. 1.6.1).



Рис. 1.23 Общий вид колонны с размещенными на ее поверхности накладными зарядами в водяном окружении

Валка (без корчевания) железобетонных колонн, под основанием которых взрывалось только 1...2 камуфлетных заряда ВВ, достигалась только в том случае, если эти колонны подвергались дополнительному внешнему воздействию, например, являлись несущими, т.е. на колоннах были размещены элементы перекрытия (колонны № 5...8), и (или) на их боковую поверхность воздействовала увеличенная масса взрываемого заряда ВВ (например, на колонне № 7 взрывались 5 накладных заряда общей массой 5,7 кг; в колоннах № 6...8 дополнительно взрывалось по 0,3...0,6 кг ВВ в горизонтальных шпурах длиной 0,50...0,65 м, пробуренных в колонне на высоте 0,5...1,5 м от пола).

Таким образом, способ разрушения взрывом камуфлетных зарядов без выброса забойки из шпуров является новым эффективным направлением рыхления бетонных фундаментных блоков вокруг вмонтированных в них железобетонных колонн ниже нулевой отметки (корчевания колонн и выброса их из воронки взрыва) (рис. 1.24).

Способ достаточно надежен, исключает разброс взорванной массы и поэтому не требует применения дорогостоящих и трудоемких укрытий-локализаторов, снижает интенсивность ударной и звуковой воздушных волн, а также не приводит к образованию ядовитых окислов азота, что определяет перспективность его применения при взрывных работах по ликвидации зданий и сооружений.

Способ достаточно технологичен, не требует применения дорогостоящих дефицитных материалов и может быть реализован при всех методах взрывных работ (электрическом, огневом и безкапсюльном).

С учетом настоящих выводов рекомендуемой областью применения указанного способа являются те условия взрывных работ, где их производство традиционными методами является небезопасным или неэффективным (Приложение Д).

1.7. Конструкция шпурового заряда ВВ для управления действием взрыва на обуренный массив

При ликвидации зданий и сооружений взрывом шпуровых зарядов ВВ нередко возникает необходимость или усиления осевого импульса взрыва, например, для более эффективного разрушения заглубленной части фундамента, или усиления динамического действия взрыва на заданный их боковой участок, например, на место окончания (заделки) арматуры в разрушаемых железобетонных колоннах.

В результате экспериментальных и теоретических исследований, проведенных на кафедре «Строительство шахт и подземных сооружений» ДонНТУ, впервые установлен пульсирующий характер распространения детонации в пассивном патроне ВВ, отделенном от патрона боевика инертным промежутком. В результате этого происходит рост скорости выделения энергии взрыва. Это в свою очередь приводит, при определенных параметрах заряда, к перераспределению импульса взрыва из осевого в радиальный. Из этого факта вытекает весьма важная практическая

рекомендация, заключающаяся в том, что для интенсификации воздействия продуктов взрыва на нижнюю часть обуренного массива необходимо шпуровой заряд разделить инертным промежутком (рис. 1.25).



Рис. 1.24 Общий вид здания подъемной машины ствола № 5 шахты им. А.Б. Батова до и после камуфлетного взрывания

Такая принципиально новая конструкция шпурового заряда обеспечивает целенаправленное динамическое воздействие на обуренный массив. При этом определяющим параметром этого заряда служит масса

инертного промежутка независимо от его природы (свойств, физического состояния и других показателей).

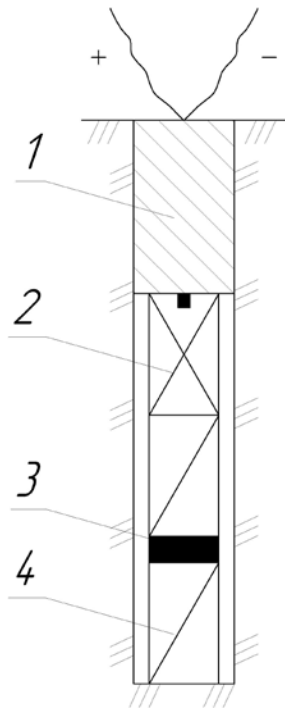


Рис. 1.25 Конструкция рассредоточенного инертным промежутком шпурового заряда:

1 – забойка; 2 – активная часть заряда;
3 – инертный промежуток, через который передается детонация; 4 – пассивная часть заряда

Максимально возможная величина осевого импульса взрыва заряда с инертным промежутком между патронами ВВ наблюдается при следующем условии:

$$\frac{m_{BB}}{M_{ин}} = 8, \quad (1.18)$$

где m_{BB} - масса активной части заряда, т.е. расположенной перед инертным промежутком, считая по ходу детонации, кг;

$M_{ин}$ - масса инертного промежутка диаметром, равным диаметру заряда ВВ.

Усиление радиального действия взрыва на стенки шпура наблюдается при условии:

$$81) \frac{m_{BB}}{M_{ин}} > 8, \quad (1.19)$$

Очевидно, что

$$M_{ин} = \delta_{ин} \cdot S_n \cdot \rho_{ин}, \quad (1.20)$$

где S_n - площадь поперечного сечения заряда ВВ, м²;

$\rho_{ин}$ - плотность материала инертного промежутка, кг/м³;

$\delta_{ин}$ - толщина инертного промежутка, м.

Для обеспечения безотказности взрывания толщина инертного промежутка должна быть меньше критической, т.е. через нее должна устойчиво передаваться детонация. Как следует из условий запаса по безопасности, за критическую дальность передачи детонации через инертный промежуток следует принимать значение, полученное на воздухе, а не в трубах, в которых передача детонации в среднем возрастает в 1,7 раза по сравнению с передачей на открытом воздухе. Техническими условиями на все ВВ указана дальность передачи через угольные таблетки плотностью 1000 кг/м³.

Исходя из вышесказанного, устанавливаем критерий:

$$\delta_{ин} < L_{кр.в} \cdot \frac{10^3}{\rho_{ин}}. \quad (1.21)$$

где $L_{кр.в}$ - критическая дальность передачи детонации через угольные таблетки на воздухе (для современных отечественных порошковых и полупластичных ВВ II-VII классов $L_{кр.в}=0,015$ м, а для аммонала скального № 1 прессованного $L_{кр.в}=0,035$ м).

Инертный промежуток необходимой толщины наиболее рационально выполнить в виде относительно прочной, но в то же время разрушаемой при взрыве таблетки. Например, из песчано-цементной смеси (торкретбетона) со стандартным соотношением компонентов (1:3:0,7).

Экспериментально установлено, что плотность таблетки из торкретбетона равна в среднем 2 г/см³. Подставив это значение в неравенство (1.21) получим, что толщина оптимального песчано-цементного промежутка между патронами диаметром 45 мм аммонала скального № 1 прессованного должна быть менее $17,5 \cdot 10^3$ м, а для порошковых и полупластичных ВВ – не менее $7,5 \cdot 10^3$ м. Таким образом, предложен технологичный способ управления взрывом, исключаяющий влияние так называемого «человеческого фактора».

На практике инертный промежуток или формируется в шпуре (на заданном его участке) непосредственно в процессе заряжания, является составной частью патронов ВВ. Суть последнего варианта заключается в том, что в заводских условиях прочная инертная таблетка размещается на одном из торцов патрона ВВ внутри парафинированной бумажной оболочки. Реальность второго предложения подтверждена опытом изготовления на Донецком казенном заводе химических изделий аммонала скального № 1 с размещенной в патроне-боевике прессованной шашкой (таблеткой) из бризантного ВВ для повышения чувствительности аммонала к инициирующему импульсу.

Контрольные вопросы и задания

1. Изложите содержание проекта (паспорта) производства взрываний, связанных с обрушением зданий и сооружений.
2. Какие инженерные мероприятия используют для безопасного и эффективного обрушения зданий и сооружений взрывом?
3. Какими параметрами характеризуется шпуровой метод обрушения зданий и сооружений?
4. Дайте общую характеристику способа обрушения зданий и сооружений взрывом накладных зарядов в водяной оболочке.
5. Какие параметры используют для характеристики эффективности действия накладных зарядов в водяной оболочке?
6. Изложите технологию валки сооружений в заданном направлении.
7. Приведите примеры успешной валки сооружений в заданном направлении.
8. Изложите технологию рыхления фундаментов взрывом шпуровых зарядов.
9. В чем состоит сложность ликвидации составных конструкций?
10. Изложите порядок выполнения работ по ликвидации шахтных пусковых установок.
11. Перечислите параметры взрывания при разрушении железобетонных и металлических конструкций.
12. Приведите схему шахтных ракетных пусковых установок.
13. Перечислите взрывные технологии в горячих массивах.
14. Каковы особенности взрывного разрушения металлических массивов?
15. Перечислите основные правила безопасности взрывания зарядов в горячих массивах.
16. Какие заряды называют камуфлетными?

17. Изложите суть способа «камуфлетного взрывания» применительно к подбою железобетонных колонн.

18. От каких параметров зависит длина забойки из сыпучих материалов для обеспечения камуфлетного взрывания?

19. Каким образом построена конструкция заряда ВВ, способная изменить направление импульса взрыва?

Глава 2

ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТАХ

2.1 Посадка насыпей на минеральное дно болот в дорожном строительстве

Посадку насыпи производят при строительстве железных и шоссейных дорог, проходящих через торфяные болота. Посадка насыпей на минеральное дно болот экономически целесообразна там, где машинная техника бессильна.

Сущность способа посадки заключается в отжати трясины под песчаной отсыпкой в стороны с помощью взрыва и опускании насыпи на минеральное дно. Если будущая трасса насыпи покрыта дерном, его удаляют с площади трассы на 5...6 м в обе стороны. Расположенные под травяным покровом торфяные пласты разрыхляют и перемешивают с болотным грунтом до получения жидкой массы с помощью взрывания зарядов ВВ. Для этого по трассе на расстоянии 1,5...3,0 м в шахматном порядке пробуривают шпуров глубиной 0,30...0,95 м мощности пласта торфа и помещают в них заряды ВВ массой 0,5...2,0 кг. В тех случаях, когда торфяной покров достигает значительной мощности и представлен слабодонасыщенным торфом, его удаляют взрывом на выброс. Если после отсыпки основание насыпи не достигает минерального дна болота, посадку осуществляют вытеснением из-под насыпи торфа взрывом зарядов, помещенных в скважины диаметром 130...160 мм, пробуренные в шахматном порядке сквозь насыпь до минерального дна. С каждой стороны нижнего края насыпи у откосов бурят до минерального дна по одному ряду скважин такого же диаметра и параллельно этим рядам на расстоянии 1,5...2,0 м от насыпи – скважины глубиной, равной мощности верхнего покрова (рис. 2.1).

Для достижения более устойчивого соприкосновения насыпи с дном болота откосы посаженной насыпи выглаживают взрыванием

дополнительных зарядов, размещенных как можно ближе к профилю этой насыпи. Заряды ВВ рассчитывают только на камуфлетно-прострелочное действие. Масса заряда зависит от глубины болота, требуемого угла выполаживания откоса и обычно принимается из условия образования камуфлетной полости радиусом 1,0...2,0 м. Перед каждым циклом отсыпки насыпь очищают бульдозером от заброшенного взрывом торфа. Для уменьшения заброса на откосах сажаемой насыпи одновременно с основными зарядами или с некоторым замедлением взрывают дополнительные заряды.

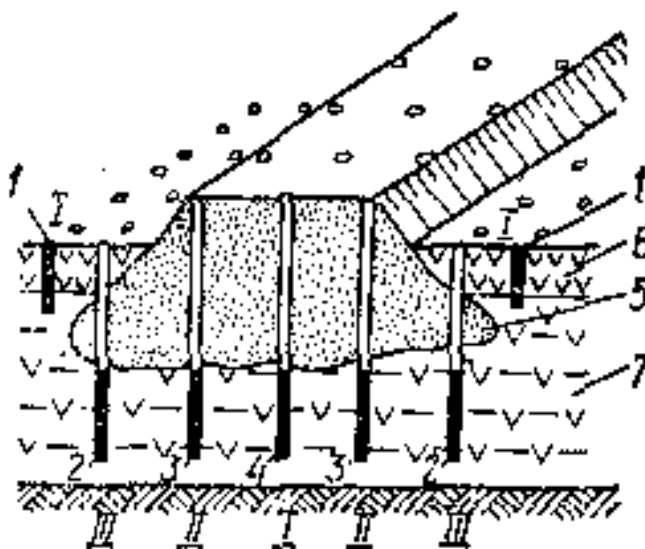


Рис. 2.1 Схема посадки насыпей, не достигающих минерального дна болот, вытеснением торфа взрывом:

- 1 – заряды, размещенные в толще торфяного покрова; 2 – подоткосные заряды; 3 – боковые заряды; 4 – осевой заряд; 5 – насыпь; 6 – верхний покров; 7 – водонасыщенный торф;
I-III – очередность взрывания зарядов

Таким образом, для посадки насыпи на твердое дно при пересечении строящимися шоссейными и железнодорожными дорогами торфяных болот выполнение взрыва должно решить следующие задачи:

- а) разрушение или удаление плотного верхнего слоя (коры) болота до отсыпки насыпи для обеспечения свободного ее погружения сквозь

неустойчивую среду; выполняется путем взрывания зарядов, расположенных в покрове болот и рассчитанных на выброс;

б) полное выжимание неустойчивой среды из-под насыпи путем взрывания зарядов, расположенных между насыпью и твердым дном; работа этих зарядов направлена на разжижение и выбрасывание неустойчивой среды из-под насыпи, а также на подъем насыпи, обеспечивающий при обратном ее падении динамический удар, необходимый для выжимания из-под насыпи остатков разжиженного торфа;

в) опускание откосов насыпи на твердое дно болота.

Если болото имеет глубину 2,5...3,0 м, то при снятии коры болот выбрасывается практически весь торф и дополнительное взрывание под насыпью не требуется.

Если болото сложено торфом с высокой степенью разложения, то при отсыпке насыпи в образованные взрывом траншеи она своей массой вытесняет хорошо текучий разложившийся торф и сама садится на твердое дно болота. В таких условиях взрывания под насыпью также не требуется.

Если болото имеет глубину свыше 3 м и сложено слабо-разложившимся торфом, то при отсыпке в траншею насыпь зависает, не достигнув дна болота, и для окончательной ее посадки необходимо производить взрывание под насыпью зарядов рыхления. В этом случае одновременно выполняется посадка откосов насыпи и рыхление придорожной полосы, куда выжимается торф из-под насыпи. Взрывание под насыпью следует выполнять, когда высота насыпи более чем в 2 раза превысит мощность слоя торфа, чтобы в результате взрыва насыпь не погрузилась полностью в разжиженную массу.

При подготовке взрывов необходимо определить мощность торфяника, мощность плотного покрова (коры) болота, степень разложения торфа.

В случае продольной отсыпки насыпей (с железнодорожного транспорта) сперва взрывают осевую траншею с направленным односторонним выбросом массы (методом наклонных скважинных зарядов). Вдоль траншеи и на сваях настилают путь и с него в осевую траншею

отсыпают насыпь. После этого путь переносят на осевую насыпь и взрывают боковые траншеи, в которые отсыпку насыпи производят с осевого пути. Если три траншеи не обеспечивают полную ширину насыпи, взрывают дополнительные боковые траншеи.

Ширина осевой траншеи:

$$B_{от} = 2W \cdot n, \quad (2.1)$$

где W – глубина заложения заряда - $W = H$ (здесь H - полная глубина болота при глубоких болотах) или $W = 0,9h$ (здесь h – мощность «коры» болота, но не более 3 м);

n – показатель действия взрыва – отношение радиуса воронки взрыва к линии наименьшего сопротивления (для зарядов первого ряда принимают $n = 1,0 \dots 1,5$, а для последующих $n = 1,5 \dots 2,5$).

Полезная ширина боковых траншей, вследствие отжимания насыпью торфа, меньше осевой и составляет:

$$B_{от} = 1,7 W \cdot n. \quad (2.2)$$

При отсыпке насыпи (с помощью самосвалов и бульдозеров) «лобовым» способом применяют метод поперечных траншей. Для максимального отбрасывания торфа за пределы трассы заряды располагают елочкой (рис. 2.2).

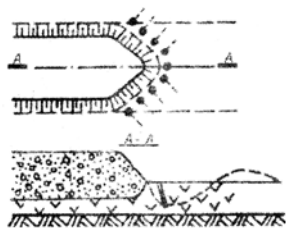


Рис. 2.2

**Сооружение
насыпи на болоте
«лобовым»
методом**

Поперечные траншеи сооружают методом удлиненных зарядов ВВ в наклонных скважинах. Ввиду многократной переброски и отжимания торфяной массы полезная ширина их еще меньше и составляет:

$$B_{пт} = 1,2 W \cdot n. \quad (2.3)$$

Реконструкцию проходящих через болото дорог, насыпи которых ранее не были посажены на минеральное дно, производят в несколько этапов. Поскольку полотно реконструируемой дороги, как правило, шире существующей, вначале сажают откосы имеющейся насыпи по

описанной выше методике, располагая заряды по возможности ближе к насыпи. После опускания откосов насыпи до дна, дорогу расширяют в одну сторону боковым забоем по обычной методике. Затем насыпь таким же образом расширяют и в другую сторону. Небольшая линза торфов, зажата под центром насыпи, защищенная от болотного массива мощными боковыми откосами и сильно осушенная действием взрыва, дальнейшей осадки не дает.

Бурение скважин в болотных грунтах может осуществляться реконструированным легким передвижным геологоразведочным станком. Станок может располагаться на болотах, поверхность которых выдерживает давление не менее $1,5 \cdot 10^4$ Па. Рабочий орган станка – бур состоит из крестообразно сложенных острых лезвий, предназначенных для разрушения неразложившихся органических остатков. При малой глубине болота и хорошо поддающихся резанию торфах, можно применять бурение при помощи ручного бура, состоящего из круглого органа резания с радиально расположенными лезвиями и прикрепленного к нему легкого шеста из алюминиевой трубы. При этом обязательна постоянная промывка скважины для выброса из нее измельченного торфа. При ударно-канатном бурении вследствие размыва торфов образуется малоустойчивая скважина-колодец диаметром 500 мм. Поэтому заряд ВВ необходимо помещать сразу после окончания бурения. Для обеспечения достаточной безопасности применяют целый мешок аммонита заводской упаковки, обвязанный несколько раз ДШ, конец которого выведен на поверхность болота. При глубине скважин более 6 м боевик дублируют.

Заряжание скважин производят при помощи веревки и шеста из алюминиевых труб, соединенных резьбой. В случае, если пробуренные скважины заплывают сразу же после окончания бурения, заряжание производят с помощью специальных устройств или торпед, а если торфяная корка болота довольно твердая, используют специальные машины для закладки зарядов в водонасыщенные грунты.

В качестве взрывчатого вещества экономически наиболее целесообразно применение водоустойчивого порошкообразного аммонита 6ЖВ.

Забойка скважин, как правило, не требуется, так как верхняя часть их осыпается и заполняется водой.

После окончания заряжания последней скважины монтируют взрывную сеть из детонирующего шнура ДША или ДШВ. Всю взрывную сеть дублируют. Инициирование детонирующего шнура производится электродетонаторами мгновенного действия типа ЭД-8Ж или ЭДКЗ-ОП.

Монтаж электровзрывной сети в обводненных условиях разрешается выполнять только с применением антенных проводов.

При проектировании взрыво-посадочных работ рассчитывают основные технологические параметры процесса отсыпки и взрывной посадки насыпей на болотах: допустимые максимальные и минимальные значения высоты отсыпаемой насыпи; шаг посадки и параметры насыпи после взрыва; массу заряда и глубину его расположения; расстояние между взрывными скважинами в ряду и от них до откоса насыпи; безопасные расстояния при производстве взрывных работ.

Максимальная высота отсыпки должна исключать ее самопроизвольное оползание в болотный грунт, а минимальная – гарантировать нарушение условий равновесия откоса в результате взрыва и посадку насыпи.

При сооружении насыпи на болоте рассчитывают параметры взрывных работ в следующей последовательности:

а) глубина скважины:

$$L_{c\hat{e}a} = \frac{W}{\sin \alpha}, \text{ м}, \quad (2.5)$$

где α - угол наклона скважины (обычно $45...50^\circ$).

б) масса заряда:

$$Q_{c\hat{a}d} = q_p \cdot W^3 \cdot f_n, \quad (2.6)$$

где q_p - расчетный удельный расход ВВ в зависимости от зольности торфа,

составляет:

зольности	20	30	40	50	60	70
удельный расход, кг/м ³	0,58	0,59	0,61	0,65	0,71	0,81

f_n - функция показателя действия заряда, составляющая при взрывании торфа наклонными скважинами:

n	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
f_n	1	1,10	1,2	1,55	2,1	2,82	3,6

в) длина заряда:

$$l_{\text{зад}} = 0,75L_{\text{скв}}, \quad (2.7)$$

где $L_{\text{скв}}$ – длина скважины, м.

г) диаметр заряда:

$$d_{\text{зад}} = \sqrt{\frac{4q_o}{\pi l_{\text{зад}} \Delta \hat{A}}} \quad (2.8)$$

д) расстояние между скважинами при взрывании в осевой траншее:

$$a_{om} = W \sqrt[3]{f_n} \quad (2.9)$$

е) расстояние между скважинами (зарядами) при взрывании в боковых и поперечных траншеях:

$$a_{\text{бок}} = 0,9 \hat{a}_{\text{бок}} \quad (2.10)$$

ж) расстояние от проектной оси до линии заложения скважин:

$$\hat{a} = \sqrt{L_{\text{скв}}^2 - W^2} \quad (2.11)$$

Проект взрывных работ на болотах должен отражать мероприятия по предупреждению взрыва горючих газов. При производстве взрывных работ огневое взрывание разрешается только при одиночном заряде.

При взрывании с применением электродетонаторов или капсулей-детонаторов необходимо использовать патроны-боевики в специальной оболочке, не передающей давление на детонатор при нажатии на боевик забойником.

Заряжание скважин (шпуров) при взрывании детонирующим шнуром допускается проводить непосредственно вслед за бурением. В скважину

(шпур) одновременно можно досылать не более двух патронов ВВ без средств инициирования.

Сейсмобезопасные расстояния при взрывной посадке насыпей определяют по известным формулам. Для уменьшения сейсмоопасности отдельные заряды или их группы взрывают с замедлением, а также применяют цилиндрические вертикальные заряды вместо сосредоточенных – в случаях, когда охраняемый объект находится на близком расстоянии. На ситуационный план местности должны быть нанесены искусственные сооружения, ЛЭП и линии связи, попадающие в опасную зону, предусмотрены меры по защите их от действия взрыва.

2.2 Взрывное рыхление мерзлых грунтов

Взрывное рыхление мерзлых грунтов применяют при планировке площадок, разработке котлованов, траншей, каналов и других выемок в зимнее время, а также в условиях вечной мерзлоты. Мерзлые слои торфа рыхлят с использованием энергии взрыва с целью ускорения его оттаивания.

Отсутствие естественной трещиноватости и наличие мягкого подстилающего слоя обуславливают особенности ведения взрывных работ в мерзлых грунтах. Взорванный грунт во избежание повторного смерзания убирают сразу после взрыва. Наиболее эффективен взрывной способ рыхления мерзлых грунтов при глубине промерзания свыше 0,8 м.

В зависимости от глубины промерзания, требуемой степени дробления грунта и расстояния до зданий и сооружений применяют шпуровые, скважинные, котловые, малокамерные и щелевые заряды. При мощности мерзлого слоя до 1,5 м применяют шпуровые заряды, при большей глубине промерзания – скважинные. Глубина шпуров (скважин) при глубине промерзания до 1 м равна мощности мерзлого слоя, при большей глубине – меньше ее на 2...3 диаметра заряда.

Расчетный удельный расход ВВ (q_p , кг/м³) зависит от грунта:

мерзлая глина и строительный мусор	-	0,7...0,9
суглинок с галькой	-	0,6...0,7

песчаный и черноземный

- 0,4...0,6

Бурят шпур (скважина) в мерзлых грунтах станками вращательного бурения в шахматном порядке.

Взрывание зарядов – огневое или электрическое.

Основные расчетные параметры и расход ВМ при шпуровом и скважинном рыхлении мерзлых грунтов приведены в табл. 2.1, 2.2, 2.3.

Таблица 2.1

Основные параметры взрывных работ при взрывании мерзлых грунтов и торфа шпуровыми зарядами

Грунт	Глубина на промерзания, м	$l_{ш}$, м	W_z , м	q_p , кг/м ³	$q_{ш}$, кг	$b_{ш}$, м	$a_{ш}$, м	l_z , м	$l_{зар}$, м	Объем взрываемой породы, м ³
Растительный слой, песок	0,5	0,5	0,5	0,6	0,21	0,5	0,5	0,3	0,2	0,125
	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0
	1,5	1,4	1,5	0,6	1,0	1,4	1,4	0,6	0,8	2,9
Суглинок, супесь, гравийно-песчаный	0,5	0,5	0,5	0,65	0,23	0,5	0,5	0,3	0,2	0,125
	1,0	1,0	1,0	0,65	0,65	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0
	1,5	1,4	1,5	0,65	1,0	1,3	1,3	0,6	0,8	2,55
Плотная глина	0,5	0,5	0,5	0,75	0,27	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
	1,0	1,0	1,0	0,75	0,75	1,0	0,85	0,4	0,6	0,85
	1,5	1,4	1,5	0,75	1,0	1,1	1,4	0,6	0,8	2,3

Таблица 2.2

Основные параметры взрывных работ при взрывании мерзлых грунтов и торфа скважинными зарядами

Глубина промерзания, м	$L_{скв}$, м	Группа пород по СНиП	W_p , м	q_p , кг/м ³	$q_{скв}$, кг	$a_{скв}$, м	$b_{скв}$, м	l_z , м	$l_{зар}$, м	Объем взрываемой породы, м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0	1,0	I	1,0	0,5	0,5	1,0	0,55	0,8	0,2	1,0
1,5	1,4	I	1,4	0,5	1,4	1,4	1,2	0,9	0,5	2,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2,0	1,8	I	1,8	0,5	2,7	2,1	2,1	0,9	0,9	7,6

2,5	2,3	I	2,3	0,5	4,2	2,1	2,1	0,9	1,4	12,0
1,0	1,0	II	1,0	0,6	0,6	1,0	0,85	0,8	0,2	1,0
1,5	1,4	II	1,4	0,6	1,6	1,4	1,2	0,9	0,5	2,9
2,0	1,8	II	1,8	0,6	2,7	1,0	1,9	0,9	0,9	6,8
2,5	2,3	II	2,3	0,6	4,2	1,9	1,9	0,9	1,4	10,9
1,0	1,0	III	1,0	0,75	0,75	1,0	0,85	0,75	0,25	1,0
1,5	1,4	III	1,4	0,75	2,0	1,4	1,2	0,7	0,7	2,9
2,0	1,8	III	1,8	0,75	2,7	1,7	1,7	0,9	0,9	6,1
2,5	2,3	III	2,3	0,75	4,2	1,7	1,7	0,9	1,4	9,8

Таблица 2.3

Расход взрывчатых материалов при взрывании мерзлых грунтов

Группа пород по СНиП	Глубина промерзания, м	Расход на 1000 м ³				
		аммонита бЖВ, кг	ДШ, м	ЭД, шт.	КД, шт.	ОШ, м
I	0,5	1680	990	8000	8800	6600
	1,0	600	220	1000	1100	1380
	1,5	725	110	345	380	630
II	0,5	1840	1060	8000	8800	6600
	1,0	650	240	1000	1100	1380
	1,5	860	115	392	430	720
III	0,5	2700	1190	10000	11000	8250
	1,0	880	250	1180	1290	1620
	1,5	1080	125	435	478	790

2.3 Взрывной плантаж

Взрывной плантаж, или глубокое рыхление почвы, применяют при подготовке площадей под виноградники и сады.

Заряды ВВ закладывают в почву так, чтобы разрыхленный взрывами грунт не разбрасывался, а перемешивался и оставался на месте. Для этого в почве пробуривают шпуров диаметром 40...50 мм и глубиной, равной заданной глубине рыхления (обычно до 1,0 м), на расстоянии, равном 1,1...1,5 глубины шпура, от края канавки, образованной предыдущими взрывами (рис. 2.3).

Заряды первого ряда шпуров рассчитывают, как заряды выброса с показателем действия $n = 1$:

$$q_{\phi} = q_B W^3, \quad (2.12)$$

где q_B – расчетный удельный расход ВВ для выброса ($q_B = 0,9 \dots 1,8 \text{ кг/м}^3$ в зависимости от типа почвы).

Остальные ряды рассчитывают по этой же формуле, но как заряды рыхления с расчетным удельным расходом ВВ $0,3 \dots 0,4 \text{ кг/м}^3$. Зарядку в свободную от заряда часть шпура производят песком или мелкой сухой землей до устья. Взрывание применяют огневое или электрическое.

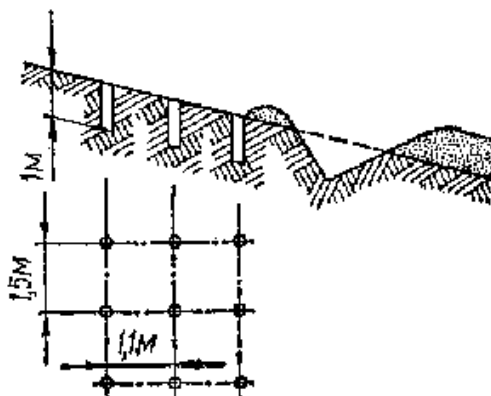


Рис. 2.3 Схема размещения зарядов при взрывном плантаже

Параметры взрыва, объем бурения и расход материалов при взрывном плантаже следующие:

- глубина рыхления, м - 1,0
- объем породы, разрыхляемой одним зарядом, м^3 - 1,65
- число зарядов - 60
- расход на 100 м^2 :
 - аммонита 6ЖВ, кг - 23
 - капсюлей, шт. - 70
 - огнепроводного шнура, м - 80
- объем буровых работ на 100^2 , м - 60

2.4 Взрывные технологии во время подготовки полосы строительства магистральных газонефтепроводов и их ремонта

2.4.1 Общая характеристика трубопроводов

Промысловые трубопроводы могут быть разделены на сборные, разборные (распределительные) и транзитные.

Трубопровод называют сборным, если вся продукция скважин или отдельные ее элементы (нефть, газ, вода) поступают в него в конечных точках и перемещаются к одному общему месту.

Трубопровод, по которому элементы продукции скважин (газ, вода) перемещаются от одного общего места к конечным его точкам (к потребителям) называют распределительным.

Трубопровод, по которому элемент продукции скважин перемещается из одного конечного пункта в другой конечный пункт, называют транзитным трубопроводом. Такой трубопровод не имеет подводов и отводов.

Основными элементами каждого сборного трубопровода (рис. 2.4) являются коллекторы (магистральи) и подводы (или отводы).

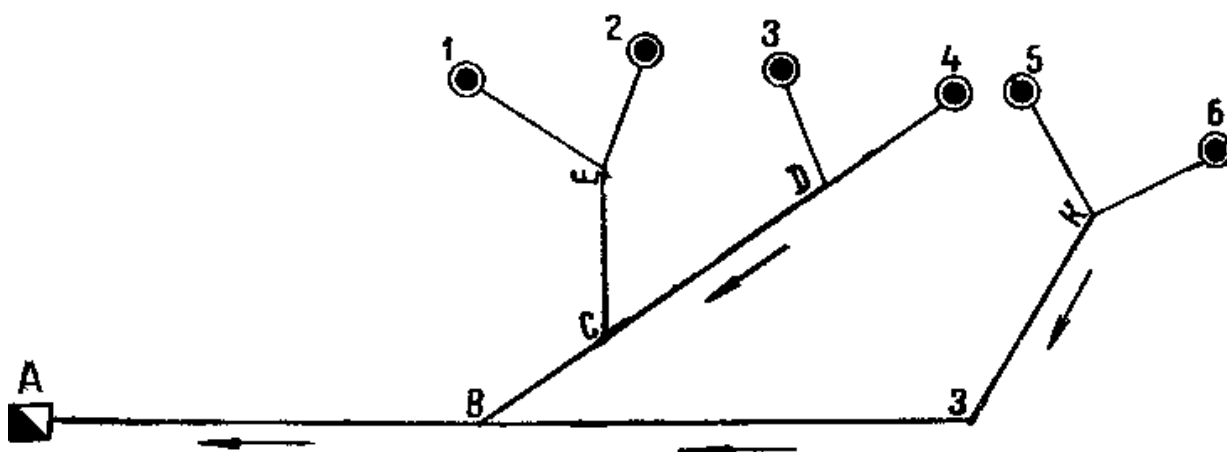


Рис. 2.4 Сборный трубопровод:

АК – магистраль I порядка; ВД – магистраль II порядка;

СЕ – магистраль III порядка.

5-К и 6-К – подводы магистрали I порядка; 3-Д и 4-Д – подводы магистрали II порядка; 1-Е и 2-Е – подводы магистрали III порядка

Подводом в сборном трубопроводе называют участок трубопровода от одной конечной точки его до присоединения к магистрали или к трубопроводу, идущему от другой конечной точки.

Отводом в разборном трубопроводе называют участок трубопровода от магистрали до конечной точки (потребителя).

Магистраль (коллектор) – участок трубопровода, объединяющий два и более подводов или отводов.

Магистрали в зависимости от их местонахождения на трубопроводе, различаются между собой номерами порядков.

Магистраль I порядка – основной участок трубопровода, к которому присоединяются все остальные коллекторы, а иногда и отдельные подводы и отводы.

Магистраль II порядка – магистраль, присоединяемая к магистрали I порядка.

Магистраль III порядка – магистраль, присоединяемая к магистрали II порядка и т.д.

Нефтепроводом называют транзитный трубопровод, по которому перемещается нефть из резервуаров одного пункта в резервуар другого. Это перемещение может производиться под действием насоса или нивелирной разности высот уровней в начальном и конечном пунктах.

Газопроводом называют транзитный трубопровод, по которому перемещается газ из одного пункта в другой. К газопроводам могут быть отнесены трубопроводы, соединяющие компрессорные станции с пунктами распределения газа (диспетчерские пункты, распределительные будки и т.д.), диспетчерские пункты с потребителями и др.

2.4.2 Параметры взрывания зарядов ВВ во время подготовки строительной полосы

Взрывные работы на трассе газонефтепроводов применяются для дробления валунов и корчевке пней.

Дробление валунов на трассе ведется наружными зарядами ВВ, кумулятивными зарядами и шпуровым методом.

Масса наружного заряда для дробления валуна рассчитывается по формуле:

$$Q = q \cdot V, \quad (2.13)$$

где q - удельный расход ВВ, кг/м³;

V - объем валуна, м³.

При дроблении крупного валуна несколькими накладными зарядами общую массу заряда рекомендуется увеличить на 20%, при этом массу одного наружного заряда определяют по формуле:

$$Q_1 = \frac{1,2 \cdot Q}{N}, \quad (2.14)$$

где N - число наружных зарядов на одном валуне.

Наружные заряды с водяной забойкой в полиэтиленовых мешочках рекомендуется применять в летнее время. Площадь полиэтиленового мешочка должна быть в два раза больше поверхности взрываемого заряда. Толщина слоя воды 50...60 мм. При этом удельный расход ВВ уменьшается, разлет кусков породы составляет всего 25...75 м. Экономия ВВ при взрыве 1 тыс. м³ валунов составляет 500...800 кг.

Кумулятивные заряды рекомендуется применять при прокладке трубопроводов в горах. Тротиловые литые шашки без металлической облицовки кумулятивной выемки при диаметре взрываемого валуна (d) применяют массой (m):

$$d = 0,5 \dots 0,6 \text{ м} \quad - \quad m = 180 \text{ г}$$

$$d = 0,6 \dots 0,8 \text{ м} \quad - \quad m = 260 \text{ г}$$

$$d = 0,9 \dots 1,2 \text{ м} \quad - \quad m = 500 \text{ г}$$

$$d = 1,1 \dots 1,4 \text{ м} \quad - \quad m = 1000 \text{ г}$$

Тротиловые прессованные шашки с металлической облицовкой кумулятивной выемки при диаметре валунов 0,2...2,0 м применяют массой 76...475 г.

В зимнее время кумулятивные заряды рекомендуется применять с усиленной снежной забойкой высотой 0,5...0,7 м. В сложных условиях трассы для взрывания валунов рекомендуется применять шпуровое гидровзрывание.

При шпуровом методе в центре валуна бурится шпур глубиной 0,3...0,5 толщины валуна, в который закладывают заряд ВВ, и делается забойка из мелкой породы или воды до устья шпура.

Укладка нефте-, водо- и газопровода под дорогой производится, как правило, в патроне диаметром, на 100 мм большим, чем диаметр трубопровода.

2.4.3 Ремонт действующих газонефтепроводов

Для предотвращения разрывов трубопровода от сил внутреннего давления и сил трения опор при температурных удлинениях на прямолинейных участках трубопроводов устанавливаются компенсаторы (как правило, гнутые) – приспособления, воспринимающие изменение длины трубопровода, возникающее под влиянием изменения температуры внешней или внутренней среды.

В то же время металл, соприкасающийся с внешней средой (земля, воздух, вода и пр.), под влиянием химических и электрических факторов, а также под влиянием блуждающих токов подвергается разрушению даже при применении средств защиты от коррозии (защитные покрытия, катодная защита и пр.). Интенсивность разрушения различна. Так, например, срок жизни зарытого в землю металла исчисляется от трех до нескольких десятков лет.

Очевидно, что вышеуказанные факторы, а также транспортирование газа под высоким давлением (1 МПа и выше) приводят к аварийным разрывам газонефтепроводов.

Для ремонта действующих газонефтепроводов применяют взрывные работы: по вскрытию заглубленных участков трубопроводов, а также удалению аварийного участка трубопровода («катушки»).

Для вырезки «катушек» применяют наружные заряды ВВ в эластичной оболочке, которые крепятся вокруг трубы по аналогии с перебиванием предметов удлиненной формы (см. 6.1).

Взрывные работы в охранной зоне открытого или закрытого (заглубленного) магистрального трубопровода могут проводиться только при наличии письменного согласия предприятия, эксплуатирующего трубопровод. Для получения согласия на их проведение должен быть в наличии проект на взрывные работы. Такой проект должен отвечать требованиям «Единых правил безопасности при взрывных работах» и обеспечивать сохранность трубопровода, сооружений (перекачивающих станций и т.п.), а также соблюдение других условий, установленных предприятием, эксплуатирующем трубопровод, в т.ч. исключать возможность воспламенения газовоздушных и капельновоздушных смесей внутри трубопровода, а также возгораний нефтепродуктов вне трубопровода.

2.5 Образование камуфлетных полостей

Камуфлетные полости применяют при строительстве подземных емкостей для хранения некоторых жидкостей и газов, сооружении свай с уширенной пятой (камуфлетные сваи), а также ям под столбы и опоры.

Сущность работы по образованию камуфлетных полостей в пластичных породах (глинах, суглинках) заключается в том, что в скважине (шурфе) размещают заряд ВВ и взрывают его в камуфлетно-прострелочном режиме, т.е. с выбросом в атмосферу продуктов взрыва и забойки. При этом в массиве образуется камуфлетная полость (котел). Последовательность его формирования показана на рис. 2.5.

В породах проходят шурф или скважину. Для защиты от водоносных горизонтов шурф (скважину) крепят или цементируют. Затем шурф (скважину) углубляют до отметки заложения заряда ВВ. На забой незакрепленной части шурфа (скважины) опускают заряд ВВ, а скважину (шурф) заполняют забойкой. В момент взрыва стенки зарядной камеры подвергаются ударной нагрузке продуктами детонации. Расширение продуктов взрыва сопровождается образованием сферической полости, сообщающейся с поверхностью земли через закрепленный шурф (скважину).

Для выполнения работ необходимо опытным взрыванием уточнить принятый показатель простреливаемости пород, в которых предполагается выполнить взрывы. Если выше пласта, в котором намечено образовать полости, расположены сыпучие или плавучие породы, бурение скважин следует вести с полной обсадкой во избежание прорыва неустойчивых грунтов в созданную взрывом полость.

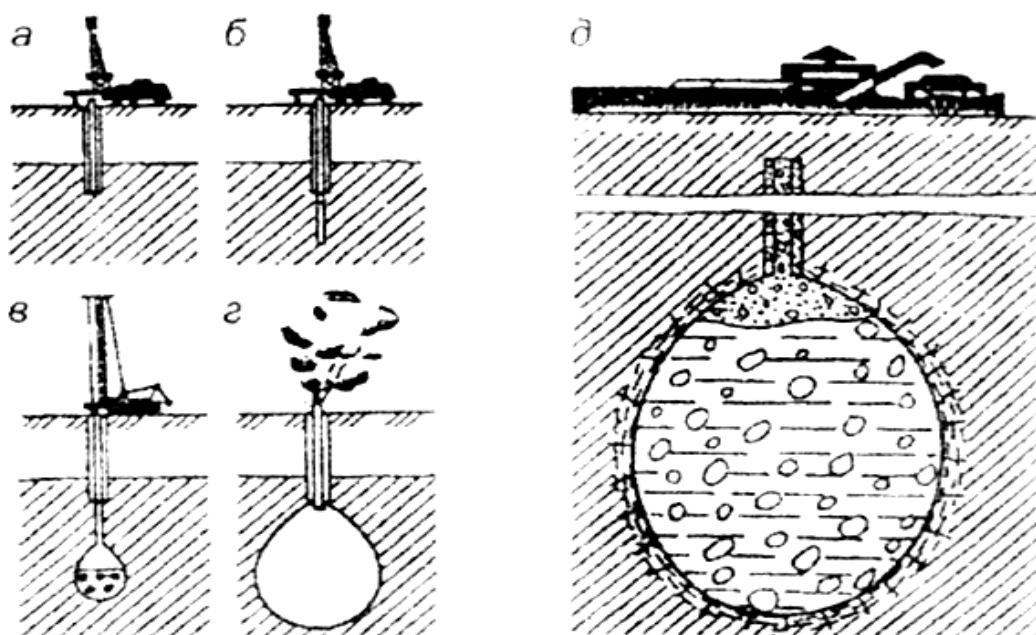


Рис. 2.5 Технологическая схема сооружения подземного резервуара:
 а и б – бурение скважины соответственно начальным и конечным диаметром;
 в – образование прострелочного котла; г – основной взрыв; д – подземный резервуар, заполненный токсичными веществами

Чтобы исключить образование воронки на поверхности, определяют минимально допустимую глубину заложения расчетного заряда (W_{\min}).

Если принятая глубина заложения заряда меньше минимально допустимой величины, т.е. $W_{пр} < W_{min}$, то применяют последовательную прострелку необходимое число раз.

При первой прострелке заряд может быть насыпным или вводиться в скважину в виде патрона-боевика. В случае многократной прострелки каждый последующий заряд готовится в виде одного патрона-боевика. При последовательной прострелке интервал между взрывами должен быть не менее 15...30 мин. в зависимости от типа ВВ.

Для предохранения от повреждений ствола скважины необходимо применять забойку из сухого песка или воды. Высота забойки над зарядом должна быть не менее удвоенной длины заряда.

При образовании камуфлетных полостей под установку свай диаметр скважин должен на 30...50 мм превышать диаметр бетонной сваи. Прострелку производят сосредоточенными зарядами в виде патронов-боевиков (рис. 2.6). Взрывание - только электрическое.

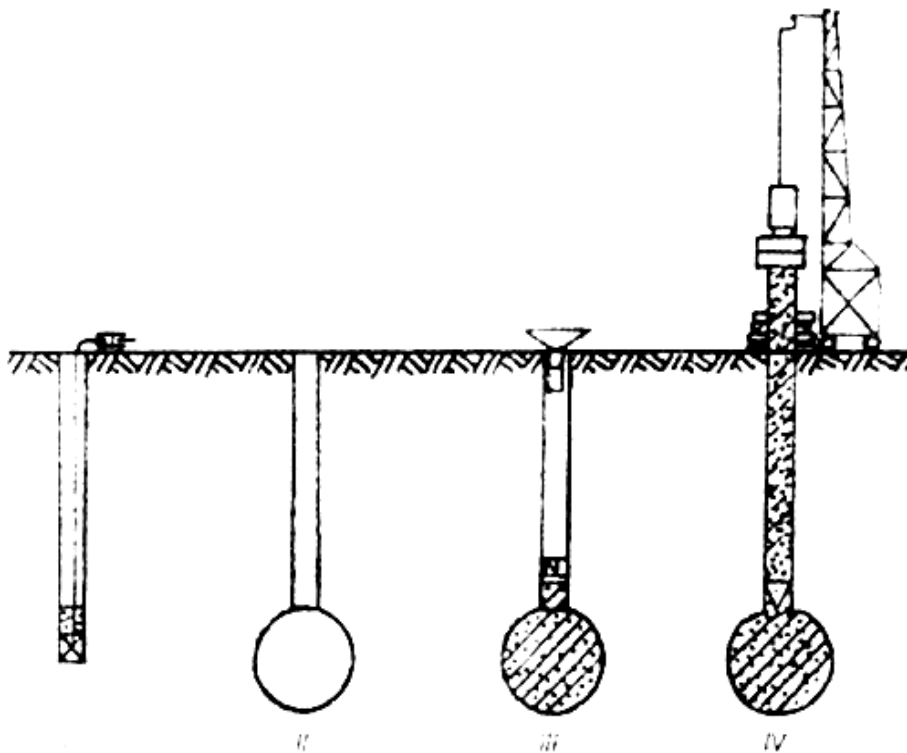


Рис. 2.6 Технологическая схема работ по сооружению камуфлетных свай:
I – бурение скважины и зарядка для прострелки; II – простреливание;
III – заполнение котла бетоном; IV – вибропогружение сваи в бетон

При составлении проекта необходимо предусматривать установку свай, начиная с бурения скважины. При строительстве ям под столбы и опоры по оси будущей ямы бурят скважину, в ней взрывают удлиненный заряд, расширяя скважину до требуемого диаметра. Диаметр получаемой ямы пропорционален диаметру заряда.

При использовании стандартных патронов диаметром 32 мм связка из двух патронов соответствует расчетному диаметру заряда 45 мм, из трех патронов - 55 мм, четырех - 64 мм, пяти патронов - 71 мм.

Диаметр скважины принимают в 1,5 раза большим расчетного диаметра заряда, т.е. $1,5 d_{\text{зар}}$. Глубина скважины должна на 10% превышать проектную глубину выемки. В летний период длину забойки и заряда принимают равным $20 d_{\text{зар}}$. Зимой, при наличии мерзлоты, когда необходимо разрушить мерзлый слой, длину заряда принимают равной длине скважины, т.е. $l_{\text{зар}} = L_{\text{скв}}$.

Таким образом, при данной строительной технологии наиболее трудоемкая часть строительства - земляные работы (разработка, транспортирование грунта и размещение отвалов) - выпадает.

На трассе, по которой расположены ямы, возможны изменения свойств грунта. Поэтому в проекте следует предусматривать плотность грунта.

По изложенной технологии были успешно выполнены работы по сооружению линий электропередачи Назарово-Абакан (на участке Назарово-Ужур).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие задачи решаются при посадке насыпи на болото взрывом?
2. Перечислите параметры работ при сооружении насыпи на болоте?
3. В чем состоит сущность способа посадки насыпей на минеральное дно болот?
4. Как выполняют реконструкцию проходящих через болото дорог?
5. В каких случаях применяют взрывное рыхление мерзлых грунтов?

6. Перечислите основные параметры рыхления мерзлых грунтов взрывом.
7. Что такое «взрывной плантаж»?
8. Дайте общую характеристику газонефтепроводов.
9. Перечислите параметры взрывания зарядов ВВ для подготовки полосы под трубопроводы.
10. Для каких целей применяют камуфлетные полости?
11. Изложите технологию сооружения подземной камуфлетной полости взрывом.

Глава 3

ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

3.1 Взрывной метод разрушения льда

В зимний период многие реки и огромное количество водоемов покрываются ледяным панцирем. Ежегодный ущерб, причиняемый только ледоходом огромен.

Одним из основных направлений предупреждения и ликвидации опасных ледяных заторов является применение взрывов. Они широко используются в оперативной борьбе с заторами на затороопасных участках путем закладки зарядов ВВ на лед, в лед и под лед. Взрывные работы особенно необходимы для разрушения мощных заторов, когда другие способы их разрушения не дают положительных результатов и когда время на проведение мероприятий по борьбе с заторами ограничено. Кроме того, при помощи взрыва выкалывают изо льда древесину, раскалывают во время ледохода крупные льдины, проводят во льдах суда.

Взрывные работы могут применяться:

а) для проведения предупредительных мероприятий, обеспечивающих беззаторный пропуск льда на данном участке реки;

б) для проведения предупредительных мероприятий по защите мостов и гидротехнических сооружений в период ледохода;

в) для оперативной борьбы с заторами в момент их образования с целью немедленной ликвидации причин заторообразования (больших полей, их первоначальных скоплений и т.п.);

г) для ликвидации уже сформировавшихся заторов.

При производстве ледокольных работ взрывной метод применяется при толщине льда более 0,2 м.

При взрывании льда с целью защиты охраняемых сооружений выполняют два вида работ – до подвижки льда и в период ледохода. До

подвижки скалывают лед у опор, ледорезов, труб на всю толщину льда на ширину 0,5 м, а также устраивают полыньи перед мостом и ниже моста. В последнем случае лед дробят на куски, размеры которых позволяют пропустить их баграми под ледяной покров. До подвижки льда из ледяных покровов удаляют различные инородные включения (бревна, плоты). Взрывание в этом случае начинают от берега.

Для ледокольных работ используют, как правило, водоустойчивые ВВ заводского изготовления (прессованные или порошкообразные) плотностью больше 1000 кг/м^3 , с тем, чтобы заряд погружался под лед без груза. Место ввода детонатора в патрон-боевик покрывают изолирующим составом.

Взрывание подводных зарядов производится с помощью детонирующего шнура, для инициирования которого используются электродетонаторы или зажигательные трубки при условии, что огнепроводный шнур – пластикатный или дважды асфальтированный, а провода электрической сети имеют резиновую или хлорвиниловую изоляцию.

Длина зажигательной трубки должна составлять 2 м при расстоянии между зарядами до $5W_{\text{л}}$ и 2,5 м при большем расстоянии между зарядами.

Для расчленения ледяного покрова на отдельные карты лед разрыхляют постепенно одновременным взрыванием зарядов, расположенных двумя-тремя поперечными рядами, начиная снизу (по течению). Массу зарядов рассчитывают по формуле:

$$Q = q_{\text{л}} W_{\text{л}}^3, \text{ кг}, \quad (3.1)$$

где $q_{\text{л}}$ – расчетный удельный расход ВВ (в зависимости от ожидаемого эффекта принимается равным $0,5 \dots 1,0 \text{ кг/м}^3$);

$W_{\text{л}}$ – ЛНС (измеряется от центра заряда до поверхности льда), принимаемая равной $1,5 \dots 2$ м при толщине льда до $0,4$ м и $2 \dots 3,5$ м при более толстом ледяном покрове.

При $q_{\text{л}} < 0,4 \text{ кг/м}^3$ происходит рыхление льда без его разброски и видимого образования майны. При $q_{\text{л}} = 0,4 \dots 0,6 \text{ кг/м}^3$ образуется майна,

полностью забитая крупными осколками льда. При $q_{л} = 0,6...0,9 \text{ кг/м}^3$ образуется майна с мелко раздробленными кусками льда с ограниченным их разлетом. При $q_{л} = 0,9...1,5 \text{ кг/м}^3$ формируется майна, свободная от льда, с интенсивным разбросом кусков.

Расстояние между зарядами (м) определяется по формуле:

$$\alpha = 2D_{м}, \quad (3.2)$$

где $D_{м}$ – диаметр майны, м.

Расстояние между зарядами зависит не только от диаметра майны, но и от условий взрывания, и на практике принимается равным $(4...15) W_{л}$. В непосредственной близости от охраняемого сооружения оно равно $(4...5) W_{л}$, при наличии закраин, полыней или ранее взорванных майн – $(10...15) W_{л}$.

Базовые линии наименьшего сопротивления $W_{лб}$ и расстояние между зарядами $a_{б}$ принимаются в зависимости от толщины льда по табл. 3.1.

Оптимальная глубина заложения зарядов приведена в табл. 3.2; фактические расходы ВВ и СВ при рыхлении льда даны – в табл. 3.3, 3.4.

Таблица 3.1

Базовые линии наименьшего сопротивления $W_{лб}$, расстояние между зарядами $a_{б}$, и удельный расход ВВ $q_{л}$ при взрывании льда

Толщина льда, м	ЛНС $W_{л}$, м	Базовое расстояние между зарядами $a_{б}$ (м) при $q_{л}$, кг/м ³				Базовый удельный расход ВВ, кг/100 м ² ледяного покрова при $q_{л}$, кг/м ³			
		0,4	0,6	0,9	1,5	0,4	0,6	0,9	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,2...0,29	1,3	6,5	9	13	19,5	2,1	1,6	1,2	0,8
0,3...0,39	1,4	7	10	14	21	2,2	1,7	1,25	0,9
0,4...0,49	1,5	7,5	11	15	22,5	2,4	1,9	1,3	1
0,5...0,59	1,6	8	12	16	24	2,6	2	1,4	1,1
0,6...0,69	1,8	8,5	13	17	25,5	2,8	2,2	1,6	1,2
0,7...0,79	1,9	9,5	14	19	28,9	3,08	2,3	1,7	1,3
0,8...0,89	2,1	10,5	15	21	31,5	3,4	2,6	1,9	1,4
0,9...0,99	2,3	11,5	17	23	34,5	3,7	2,8	2,1	1,5
1,0...1,09	2,5	12,5	18	25	37,5	4	3,1	2,2	1,7
1,1...1,19	2,7	13,5	19	27	40,5	4,3	3,4	2,4	1,8

1,2...1,29	2,9	14,5	20,5	29	43,5	4,6	3,5	2,6	1,9
1,3...1,39	3,1	15,5	22	31	46,5	5	3,8	2,8	2
1,4...1,5	3,3	16,5	24	33	49,5	5,3	4,1	3	2,2

Таблица 3.2

Параметры зарядов и их заложения при различной толщине ледового покрова

Толщина кристаллического льда, м	Глубина опускания заряда в воду, м	Q, кг, при $q_{л}$, кг/м ³		а, м, при ЛНС, м, равной		
		0,5	0,9	5W _л	10W _л	15W _л
1	2	3	4	5	6	7
0,3...0,4	1,4	1,4	2,5	7,0	14	21,0
0,4...0,5	1,5	1,7	3,0	7,5	15	22,5
0,5...0,6	1,6	2,0	3,6	8,0	16	24,0
0,6...0,7	1,7	2,5	4,4	8,5	17	25,5
0,7...0,8	1,9	3,4	6,2	9,5	19	28,5
0,8...0,9	2,1	4,6	8,3	10,5	21	31,5
0,9...1,0	2,3	6,1	10,9	11,5	23	34,5
1,0...1,1	2,5	7,8	14,0	12,5	25	37,5
1,1...1,2	2,7	8,8	17,7	13,5	27	40,5
1,2...1,3	2,9	12,2	21,9	14,5	29	43,5
1,3...1,5	3,3	18,0	32,3	16,5	33	49,5

Таблица 3.3

Расход ВВ при взрывании ледового покрова

Толщина льда, м	Расход аммонита 6ЖВ, кг, на 100 м ² при взрывании льда			Толщина льда, м	Расход аммонита 6ЖВ, кг, на 100 м ² при взрывании льда		
	слабого	средней крепости	крепкого		слабого	средней крепости	крепкого
1	2	3	4	5	6	7	8
0,3...0,4	1,6	2,8	5,0	0,9...1,0	2,8	4,7	8,4
0,4...0,5	1,82	3,08	5,4	1,0...1,1	3,05	4,9	9,0
0,5...0,6	1,85	3,08	5,4	1,1...1,2	3,3	5,0	9,8
0,6...0,7	2,15	3,6	6,3	1,2...1,3	3,4	5,8	10,4
0,7...0,8	2,34	3,8	6,9	1,3...1,5	4,0	6,7	12,0
0,8...0,9	2,55	4,2	7,5				

Таблица 3.4

Расход СВ на рыхление льда

Толщина льда, м	Расход на 100 м ² льда при расстоянии между зарядами, м, равном									
	5W _л	10W _л	15W _л	5W _л	10W _л	5W _л	10W _л	5W _л	10W _л	15W _л
	ДШ, м			КД, шт.		ОШ, м		ЭД, шт.		
0,3...0,4	4,0	1,0	0,5	2,2	0,55	3,0	0,8	2,0	0,50	0,23
0,4...0,5	3,8	0,9	0,5	2,0	0,48	2,5	0,6	1,8	0,44	0,20
0,5...0,6	3,4	0,9	0,4	1,65	0,43	2,0	0,5	1,5	0,39	0,17
0,6...0,7	3,4	0,8	0,4	1,54	0,37	1,5	0,4	1,4	0,34	0,15
0,7...0,8	2,9	0,7	0,3	1,21	0,31	1,2	0,3	1,1	0,28	0,12
0,8...0,9	2,5	0,6	0,3	1,0	0,25	1,0	0,25	0,9	0,23	0,1
0,9..1,0	2,3	0,6	0,25	0,84	0,21	1,0	0,25	0,76	0,19	0,08
1,0...1,1	2,1	0,5	0,23	0,7	0,18	1,0	0,25	0,64	0,16	0,07
1,1...1,2	1,9	0,5	0,21	0,6	0,15	1,0	0,25	0,55	0,14	0,06
1,2...1,3	1,8	0,5	0,2	0,53	0,13	1,0	0,25	0,48	0,12	0,05
1,3...1,5	1,5	0,4	0,16	0,41	0,11	1,0	0,25	0,37	0,10	0,04

Заряды опускают под лед на крепком шпагате, веревке или шесте, которые закрепляют на перекладине, уложенной поперек проруби (рис. 3.1).

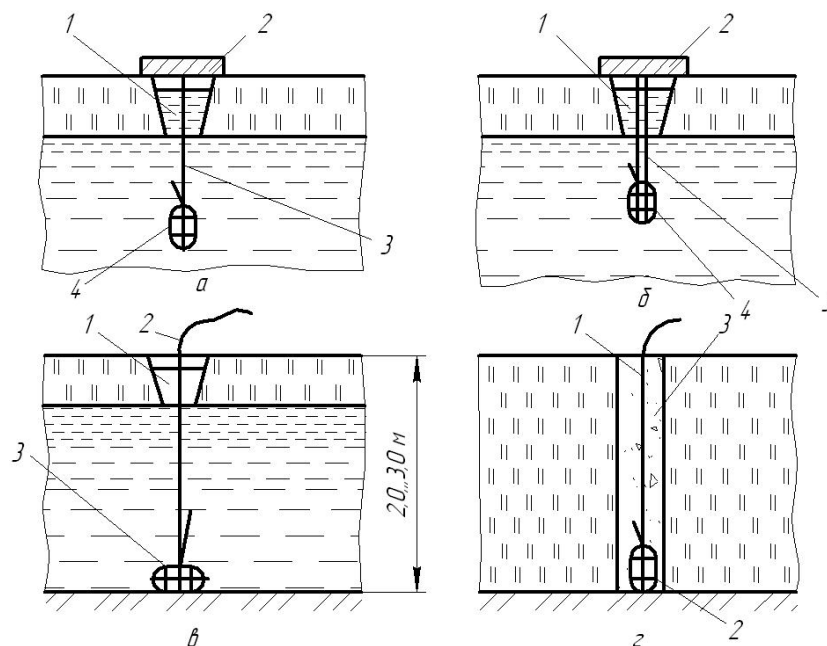


Рис. 3.1 Расположение заряда в лунке:

- а – на шпегате: 1 – лунка; 2 - перекладина; 3 – шпегат; 4 – заряд;
- б – на шесте: 1 – лунка; 2 - перекладина; 3 – шест; 4 – заряд;
- в – при отсутствии течения: 1 – лунка; 2 – шпегат; 3 – заряд;
- г – при промерзании до дна: 1 – шпегат; 2 – заряд; 3 – забойка

В период подвижки льда (ледохода) основная задача взрывных работ – равномерное разрыхление льда, проходящего мимо охраняемых сооружений.

Взрывание льда при ледоходе производится для защиты от повреждения мостов и плотин, судов и других объектов, для предупреждения наводнений и в некоторых других случаях. Необходимость выполнения работ, их характер и объемы определяются на основе опыта прошлых лет и в зависимости от условий предстоящего ледохода. К подготовительным работам приступают заблаговременно с таким расчетом, чтобы к моменту подвижки льда подготовка была закончена.

Подготовительные работы заключаются в колке льда вокруг защищаемых объектов, раскалывании определенных участков ледяного покрова, дроблении донного льда, разбивке льда на зимних дорогах, выколке древесины, вмерзшей в лед и др.

Взрывание зарядов должно производиться от середины реки к берегам, от крутого берега к пологому, снизу вверх (против течения реки). Образование полыньи или каналов вблизи опор, ледорезов и труб производится после их ручной околки и начинается с взрывания зарядов, не превышающих 0,3 кг. При применении зарядов в 0,3 кг и более необходимо соблюдать безопасные расстояния, исключающие повреждение охраняемых объектов (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Безопасные расстояния до опор моста, ледорезов, плавучих средств и застеклений при взрывании подводных зарядов

Объекты и их части	Расстояние, м, для заряда массой, кг									
	0,3	0,5	1	2	3	5	7	10	15	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Опоры моста и ледорезы	4	5	7	10	12	16	18	22	27	31
Плавающие средства (баржи, плашкоуты и понтоны)	5	7	10	14	17	22	26	32	39	45
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Застекления (при взрывании наружных зарядов)	50	70	100	140	170	220	250	320	400	450

Примечания:

1. Взрывная околка ото льда судов с железобетонным корпусом не допускается.

2. Для судов, груженых огнеопасными грузами, безопасные расстояния определяют органы пожарного надзора совместно с Госгорпромнадзором Украины.

Взрывные работы в период подвижки льда (ледохода) заключаются в равномерном разрыхлении льда, проходящего мимо защищаемых сооружений, предупреждении заторов льда и их ликвидации.

Плывущие льдины большого размера не следует подпускать к охраняемым объектам. Для их «перехвата» на дальних подступах к объекту организуются специальные круглосуточные посты наблюдения с дежурными командами взрывников. Большие льдины взрывают на расстоянии 1...5 км от объекта выше против течения подводными или наружными зарядами, масса которых колеблется в зависимости от количества льдин и скорости течения воды, но составляют не менее 1,5 от расчетной. Наружные заряды располагают на ледяном поле, на расстоянии 5...40 м друг от друга (рис. 3.2, табл. 3.6). При сплошном потоке льдин, когда добираться на массив льда трудно и опасно, его разрыхляют зарядами, бросаемыми из расположенных на берегу укрытий при глубине рек не более 3 м. Массу заряда устанавливают на месте в зависимости от размеров разрушаемых льдин.

Длина огнепроводного шнура при этом должна быть не менее 0,15 и не более 0,25 м.

Заторы, образовавшиеся вдалеке от защищаемых объектов, разрушают зарядами массой 15...25 кг, размещаемыми в замке затора, который, как правило, находится в голове затора, в трещинах или в пространстве между льдинами (рис. 3.3, табл. 3.7).

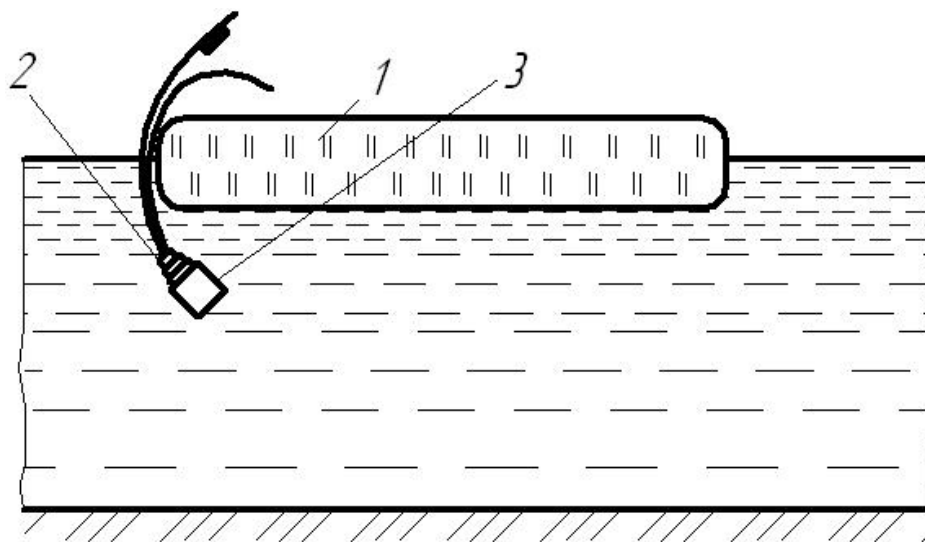


Рис. 3.2 Размещение заряда ВВ при дроблении льда:

1 – льдина; 2 – заряд; 3 – груз

Таблица 3.6

Масса наружных зарядов и расстояние между ними при раскалывании льда

Толщина кристаллического льда, м	Q, кг	a, м	Толщина кристаллического льда, м	Q, кг	a, м	Толщина кристаллического льда, м	Q, кг	a, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,2...0,3	1,2	8	0,6...0,7	3,0	17	0,9...1,0	5,0	25
0,3...0,4	1,6	10	0,7...0,8	3,7	19	1,0...1,2	7,0	32
0,4...0,5	2,0	12	0,8...0,9	4,5	22	1,2...1,5	10,0	38
0,5...0,6	2,4	14						

При взрывании заторов вблизи охраняемых объектов заряд укладывают на лед под замок затора и засыпают снегом.

Мощные заторы рекомендуется ликвидировать одновременным бескапсюльным взрыванием зарядов, в один-два ряда расположенных вдоль затора.

Имеющиеся в заторе, расположенном выше защищаемых объектов, большие льдины, которые могут нанести повреждения объектам, раскалывают взрывами до ликвидации затора.

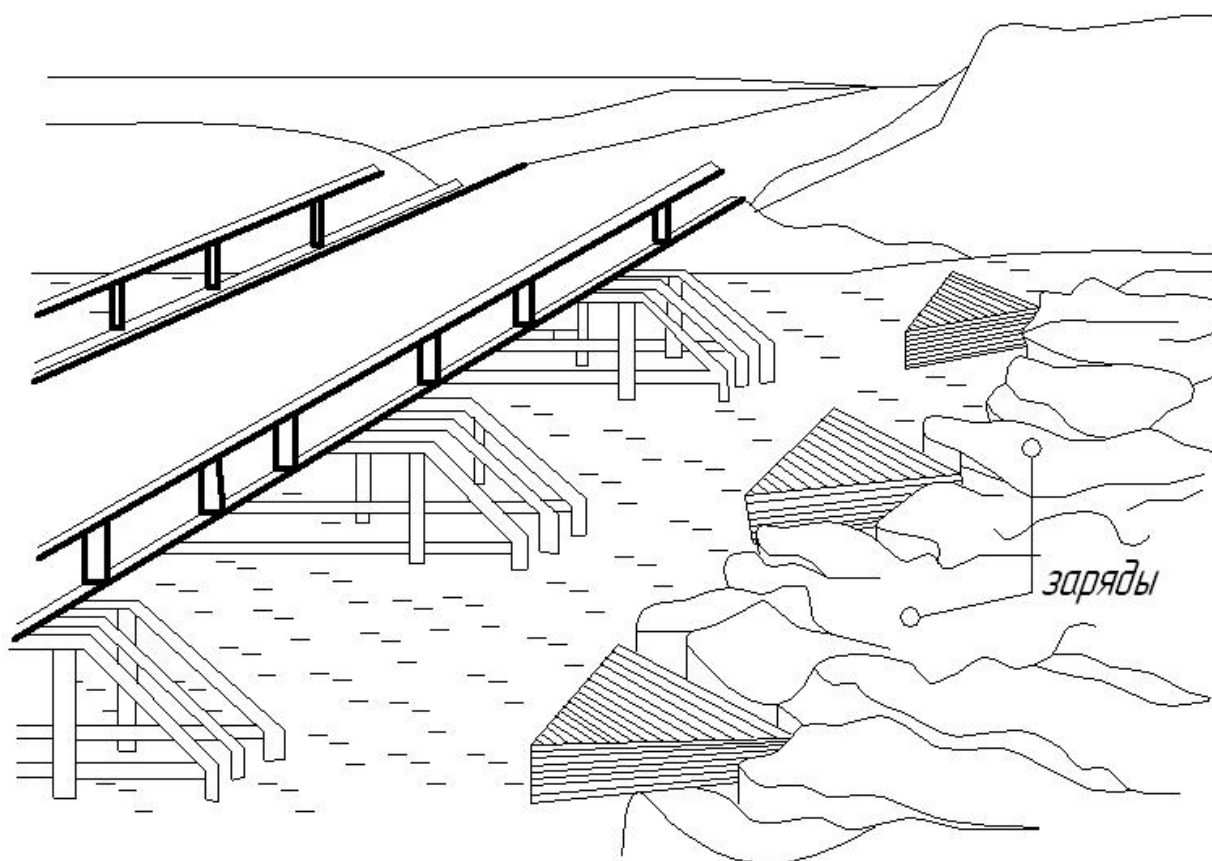


Рис. 3.3 Расположение зарядов (ВВ) в заторе выше ледорезов

Таблица 3.7

Безопасные расстояния до опор моста, ледорезов и плавучих средств при взрывании наружных зарядов

Расстояние, м, для заряда массой, кг									
0,3	0,5	1	2	3	5	7	10	15	20

5	7	10	14	17	22	26	32	39	45
4	5	7	10	12	16	18	22	27	31
2	2	3	4	6	7	9	11	15	20

Ликвидация заторов у защищаемых объектов осуществляется путем взрывания зарядов, расположенных в один ряд вдоль затора, и образования в результате взрыва канала напротив наибольшего пролета защищаемого объекта. На больших реках каналы образуют одновременно напротив нескольких пролетов.

3.2 Штампование изделий подводными взрывами

Взрыв в воде не имел особенно широкого применения в основных направлениях горного и строительного дела. Однако в последнее время стали использовать взрыв в воде для штамповки изделий из металла.

При использовании классических технологий штампования много времени затрачивается на изготовление сложных гидравлических прессов, массивных штампов и матриц из прочных стальных сплавов. На громоздкую технологию штампования затрачиваются огромные материальные средства, мобилизуются большие производственные мощности. В то же время маленький заряд дешевого взрывчатого вещества при искусном применении может заменить тысячетонные прессы и получить необходимую продукцию быстро, удовлетворяя при этом все требования конструкторов.

Механизм штамповки изделий взрывом достаточно прост.

При взрыве в воде продукты детонации сжимают прилежащие к заряду слои воды, которые передают давление соседним слоям, и, таким образом, в воде формируется ударная волна (рис. 3.4).

При продвижении ударной волны продукты детонации продолжают некоторое время расширяться с уменьшающейся скоростью, в результате этого расширения возникает радиальное перемещение воды, и образуется

газовый пузырь. В некоторый момент давление внутри газового пузыря становится меньше давления в слое окружающей воды. Начинается сжатие газового пузыря окружающей водой до момента выравнивания давлений в газовом пузыре и окружающей воде. Еще некоторое время вода по инерции продолжает сжимать газовый пузырь, создавая в нем избыточное давление, которое приводит к вторичному расширению газового пузыря. Таким образом, возникает пульсация газового пузыря со все уменьшающимся радиусом расширения. Каждая пульсация порождает в воде новую ударную волну. Ударная волна выходит на поверхность воды в виде быстрорасширяющегося водного кольца, которое можно зафиксировать высокоскоростной съемкой. В результате отражения ударной волны от свободной поверхности над последней образуется невысокий купол из мелких водяных брызг. Если заряд расположен на достаточно большой глубине, то купол может не образоваться.

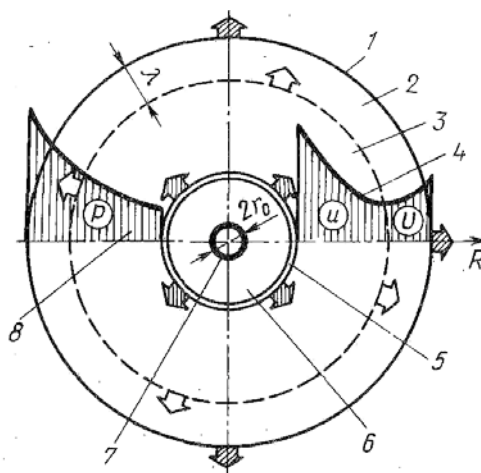


Рис. 3.4 Схема распространения сферической ударной волны и распределения давления и скорости:

1 – фронт ударной волны; 2 – зона ударной волны длиной λ ; 3 – зона гидротока; 4 – распределение скоростей частиц в зоне ударной волны и частиц гидротока; 5 – границная поверхность пузыря продуктов взрыва; 6 – газовый пузырь; 7 – сферический заряд радиуса, r_0 ; 8 – распределение давления P

При взрывах на малых глубинах (при взрывной штамповке) газовый пузырь не успевает претерпеть пульсирующие превращения вплоть до выхода пузыря на поверхность и газов в атмосферу. В результате этого

возникают фонтаны брызг, перемешанных с продуктами детонации. Высота фонтана зависит от величины и расположения заряда. Возникновение фонтанов можно предотвратить расположением на глубине в несколько сантиметров от поверхности воды сеток, которые разрезают пузырь и облегчают выход газов в атмосферу без захвата ими частиц воды.

Энергия подводного взрыва расходуется на нагрев воды, создание ударной волны, пульсирующего пузыря и расходящегося потока воды. Штамповка осуществляется, главным образом, за счет действия ударной волны и расходящегося потока воды. Пульсация пузыря, давление в котором не превышает 10...12% давления ударной волны, может оказать сильное воздействие в том случае, когда при всплытии пузырь приблизится к штампуемой заготовке в момент начала очередной пульсации. В связи с длительностью действия пульсации характер воздействия газового пузыря на заготовку близок к статическому.

Особую роль играет расходящийся поток сжимаемой волны, возникающий после появления ударной волны. В результате действия ударной волны на заготовку последняя накапливает определенное количество кинетической энергии, расходуемой после действия ударной волны. При штамповке тонкого металла заготовка может отрываться от слоя воды и перемещаться в матрицу с большей скоростью, чем скорость потока воды, сопутствующего ударной волне.

Пустота, образовавшаяся между заготовкой и водой, мгновенно заполняется кавитационными пузырями, создавая в этой зоне пониженное давление. Расходящийся поток, обтекающий матрицу, проникает в зону пониженного давления и приводит к повышению давления на заготовку, т.е. повышает эффективность штамповки.

Над штампуемой заготовкой необходимо иметь такой уровень воды (L_{\min}), чтобы отраженная волна пришла к поверхности заготовки после действия на заготовку падающей ударной волны.

Расчет показывает, что при расстоянии от заряда до заготовки 1 м и взрыве заряда массой 100 г $L_{min} = 0,3$ м, а при увеличении массы заряда до 1 кг L_{min} возрастает до 0,52 м.

Однако помещение заряда на столь небольшой глубине вызовет высокие фонтаны брызг, для предотвращения которых потребуются специальные меры защиты.

Одним из промышленных способов взрывной штамповки является следующий.

Поверх матрицы, имеющей форму штампуемого изделия, укладывается лист металла. По краям этот лист тщательно зажимается кольцевым фланцем на мощных болтах. В матрице предусматриваются многочисленные отверстия для того, чтобы при штамповании обеспечить выход воздуха, заключенному между металлическим листом и поверхностью матрицы.

Сверху над металлическим листом помещается цилиндрический сосуд с водой. Диаметр этого сосуда несколько больший диаметра матрицы. В воду помещают заряд взрывчатого вещества. Обычно этот заряд располагают на середине высоты слоя воды, на равных расстояниях от свободной поверхности воды и от поверхности листа металла (рис. 3.5).

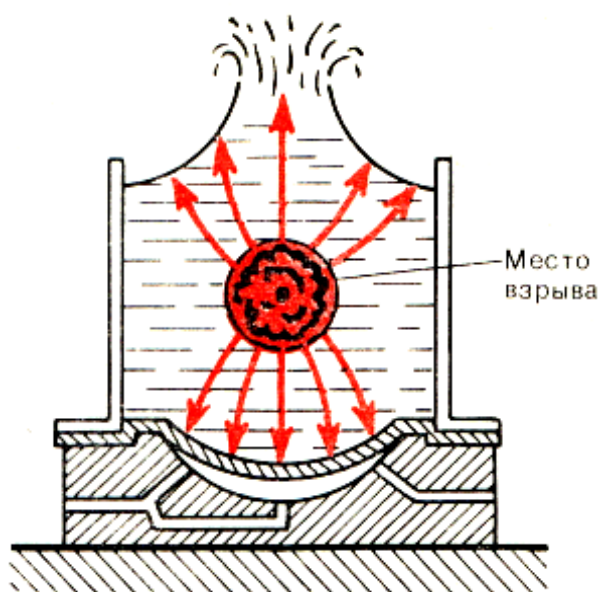


Рис. 3.5 Схема установки для штампования взрывом

Промышленные установки для штамповки взрывом в воде - это резервуары с водой, оборудованные грузоподъемными устройствами для установки матриц и деталей, снабженные вакуумными системами для откачки воздуха из полости матриц. В ряде случаев применяют системы для создания воздушных завес в баках для штамповки взрывом.

Бассейны могут быть цилиндрической формы, в виде усеченного конуса и пирамидальными. Цилиндрические бассейны наиболее просты в изготовлении и наименее материалоемки. Однако нагрузка на стенки в цилиндрическом бассейне выше, чем в коническом и пирамидальном.

Существующие типы установок разделяют на стационарные, съемные и установки-штампы. Стационарные установки строят обычно в виде цилиндрических бассейнов, которые устанавливают на поверхности или заглубляют до определенного уровня. Бетонные бассейны облицовывают изнутри металлом, препятствующим попаданию в воду частиц бетона, откалывающихся при взрыве.

Для снижения напряжений в металлических и бетонных стенах бассейна применяют подпор слоем воды (рис. 3.6).

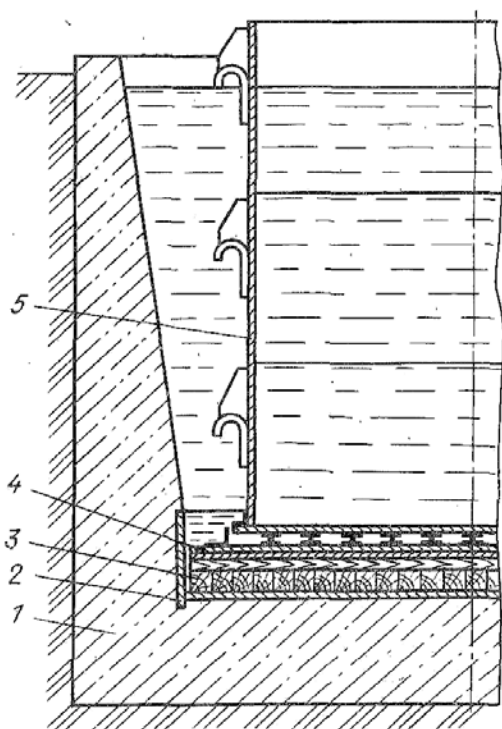


Рис. 3.6 Схема бассейна для штамповки взрывом с подпором внутренней емкости водой:
1 – бетон, 2 – стальной стакан,
3 – деревянные брусья, 4 – плита,
5 – металлическая обечайка

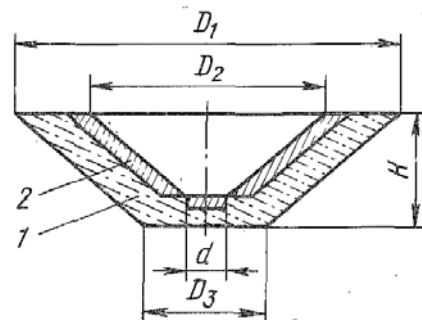


Рис. 3.7 Схема бассейна для штамповки взрывом в форме усеченного конуса:
1 – железобетон, 2 – стальные плиты

Водяной подпор позволяет снизить напряжения в стенке в 1,3...1,5 раза. С целью уменьшения воздействия ударной волны на стенки бассейна их оклеивают эластичными пластмассами или применяют воздушную защиту. Воздушная защита в 2,5...3 раза снижает напряжение в стенке бассейна. Система воздушной защиты состоит из коллектора с отверстиями, уложенного по периметру дна бассейна на некотором расстоянии от стенки. Нагнетаемый в коллектор воздух выходит через отверстия и создает защитную завесу.

Для изготовления крупногабаритных деталей обычно используют бассейны в форме усеченного конуса (рис. 3.7).

Такой бассейн представляет собой котлован со скосами, облицованными железобетоном и металлическим листом. В центре на железобетонной подушке устанавливают матрицу. Преимущества таких бассейнов - высокая прочность и надежность.

Бассейнами для взрыва могут быть озеро, река, море. Для транспортировки, подъема и опускания матриц и заготовок используют обычные плавучие средства. Принципиальная схема специальной плавучей установки показана на рис. 3.8.

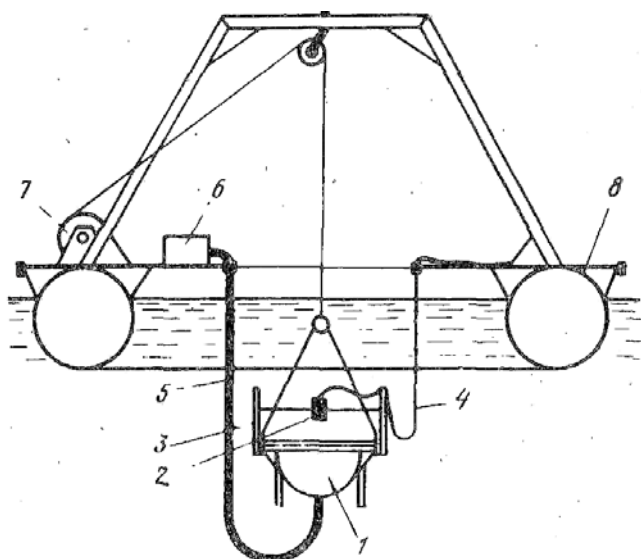


Рис. 3.8 Схема плавучей установки для гидровзрывной штамповки:

- 1 – матрица, 2 – заряд ВВ,
- 3 – стойка, 4 – детонирующий шнур, 5 – шланг к вакуумному насосу, 7 – лебедка, 8 – рама понтонной установки

Основным неудобством бассейновых установок является то, что при каждой операции штамп нужно поднимать из воды, а затем снова опускать его в воду, что приводит к большим потерям времени.

Съемные бассейны (рис. 3.9) изготавливают из стальных листов или труб с наружными ребрами жесткости.

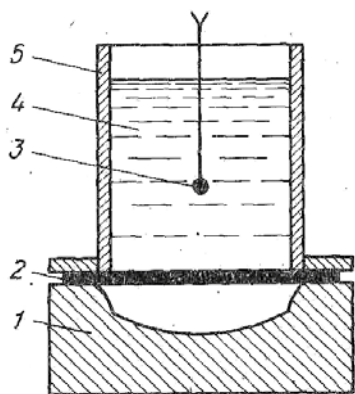


Рис. 3.9 Схема съемного бассейна для штамповки взрывом:

1 – матрица, 2 – заготовка, 3 – заряд ВВ, 4 – вода, 5 – контейнер

Форма бассейна определяется формой штампуемой детали. Корпус бассейна устанавливают на основание матрицы. К недостаткам съемных бассейнов относят большую массу конструкции, что требует использования мощного грузоподъемного оборудования и ограниченный сортамент штампуемых деталей.

Существуют конструкции разъемных бассейнов, состоящих из нескольких секций, соединенных деревянными клиньями. При взрыве заряда бассейн разлетается на отдельные секции, которые затем вновь собирают и используют для следующей операции. В разъемных бассейнах изготавливают детали с поперечными размерами 4...5 м.

Некоторое применение могут найти бассейны-штампы, предназначенные для штамповки какой-либо одной детали (рис. 3.10).

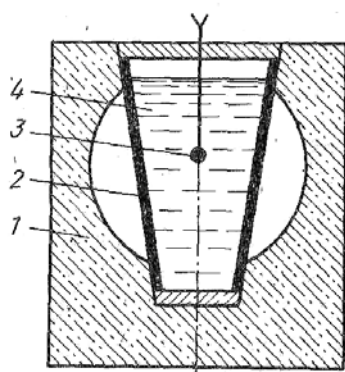


Рис. 3.10 Схема бассейна для одноразовой штамповки взрывом:

1 – матрица; 2 – заготовка;
3 – заряд ВВ; 4 – вода

Обычно участок штамповки взрывом с бассейном и водой оборудуют на открытой площадке. Однако работа на открытой площадке снижает производительность участка, особенно зимой и при неблагоприятных климатических условиях.

При взрыве энергия, передаваемая воде, разделяется примерно на две равные части. Половина этой энергии затрачивается на выброс воды вверх, в воздух. Другая часть энергии идет на деформацию обрабатываемого металлического листа.

Если прогиб листа, получаемый при взрыве, недостаточен для того, чтобы впрессовать заготовку в полной мере в матрицу, то производят один или несколько дополнительных взрывов до тех пор, пока изделие не будет полностью впрессовано в матрицу.

Таким образом, в первом приближении можно считать, что половина всей энергии, выделяемой при взрыве и передаваемой воде, идет на штампование. Если, например, для штампования применяется взрыв тротилового заряда массой 10 кг и средняя деформация штампуемой заготовки равна 0,1 м, то сила, производящая штампование, оказывается эквивалентной массовой нагрузке 15000 т весьма высокой стоимости. Такую нагрузку может также осуществить очень мощный и дорогостоящий процесс.

Таким образом, дорогостоящее оборудование может быть заменено весьма дешевой взрывной штамповкой, которую можно реализовать в любом месте быстро, просто и эффективно.

Интересен такой факт. В 1943 г. на строительстве железной дороги нужно было срочно взорвать скалу. Бурового инструмента не было. Шпурь пришлось пробивать в скале взрывами тротиловых шашек с кумулятивными выемками. Для получения должной эффективности действия таких зарядов было необходимо ввести в выемки металлические оболочки. Эти оболочки изготавливались очень быстро на месте работ из листового железа при помощи штамповки взрывом. При этом в качестве матрицы применялись простые железные гайки с отверстием достаточно большого размера. Форма

штампующей облицовки создавалась автоматически действием достаточно сильного взрыва без надобности иметь специально обработанную матрицу.

3.3 Дноуглубительные работы

Дноуглубительные работы с применением энергии взрыва проводят для улучшения условий судоходства, получения траншей для укладки труб и кабелей, расчистки русел рек. Для взрывания горных пород под водой используют наружные заряды (при глубине разработки до 0,05 м), а также шпуровые или скважинные (при глубине разработки соответственно до 1,5 м и более 1). При всех методах взрывание ведут на полную мощность разрушаемого слоя с запасом 0,3...0,5 м в зависимости от мощности слоя.

Массу наружных зарядов рыхления определяют по формуле:

$$Q = 1,5q_p H_p K_{гг}, \quad (3.3)$$

где H_p – мощность разрушаемого слоя, м;

$K_{гг}$ – коэффициент (табл. 3.8), учитывающий расположение зарядов и зависящий от глубины погружения, которая принимается равной не менее 2 м;

q_p – удельный расход ВВ, кг/м³.

Таблица 3.8

Значение коэффициента $k_{гг}$ при дноуглубительных работах

Горная порода	Значение $k_{гг}$ при взрывании зарядов	
	шпуровых	наружных
1	2	3
Рыхлый песок и пlyingуны	0,4	2,6
Гравелистые породы	0,7	3,5
Плотный песок с галькой:		
мелкой	0,9	5,5
крупной	1,1	7,0
Плотный суглинок	1,35	9,8
Синяя глина крепкая	1,4	10,7
Скальные породы мягкие с естественными разрушениями	1,53	13,5

Известняк (без трещин) и другие скальные породы средней крепости	1,86	27,0
Гранит	2,2	40,6

Расчет удлиненных зарядов производят так же, как при взрывании на дневной поверхности, но при этом увеличивают на 20...30% расчетный удельный расход ВВ или уменьшают на 10...30% параметры сетки скважин. Шпуры располагают рядами снизу вверх по течению. Глубина перебура шпуров первого ряда – врубового в 1,5 раза больше расчетной. За врубовым рядом располагают 3 ряда отбойных шпуров, а затем – новый врубовый. Применяют взрывание электрическое, огневое, при помощи детонирующего шнура, короткозамедленное по порядной схеме. Шпуровые заряды обеспечивают лучшее по сравнению с наружными дробление и менее опасны для расположенных вблизи подводных сооружений.

Дноуглубительные работы обычно ведут в зимний период, когда лед становится прочным. Во льду вырубает майны и на них делают настил из бревен и досок толщиной не менее 40 мм. Длина досок и бревен должна быть на 1,5 м больше ширины майны, расстояние между бревнами – 1,0...1,5 м, между досками – 0,2...0,3 м. Бурение и зарядание производят с плавучей платформы на понтонах, имеющей выдвижные опоры и специальные отверстия (рис. 3.11). Параметры взрывной сети и расход основных материалов при взрывании наружных и скважинных зарядов ВВ приведены в Приложении Ж.

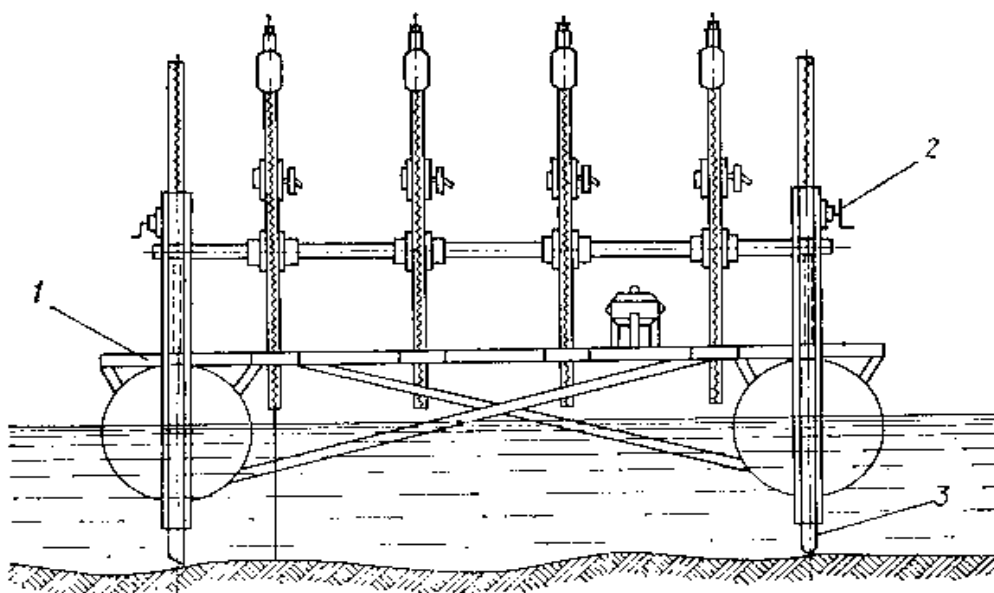


Рис. 3.11 Принципиальная схема устройства буровой платформы:
1 – понтон; 2 – подъемный винт; 3 – выдвижной упор

Проходку траншей взрывным способом при укладке труб и кабелей на дне водоемов выполняют в глинистых грунтах и скальных горных породах на глубине 0...30 м. Для взрывания глинистых грунтов применяют накладные линейно-распределительные заряды. Массу 1 м линейного заряда определяют по формуле:

$$Q_{ВВ} = 27H_{\text{од}}^2 / \ddot{I}_{\text{в}}, \quad (3.4)$$

где $H_{\text{мп}}$ – глубина траншеи, м.

Проходку траншей в скальных горных породах осуществляют взрыванием скважинных зарядов. В случае, когда траншея предназначена для одной трубы или кабеля, скважинные заряды располагают в один ряд на расстоянии $a = (0,5...0,7)W$. При необходимости получить траншею под несколько труб число рядов скважин определяют из условия, чтобы расстояние между ними не превышало 15 диаметров заряда.

3.4 Взрывные технологии демонтажа глубоководных нефтяных и газовых платформ

В последние годы в связи с прекращением функционирования нефтегазовых платформ, расположенных в открытом море, остро встает

вопрос об их демонтаже с целью утилизации или переноса на другое место. Глубоководные платформы представляют собой сложные инженерные сооружения массой в десятки тонн (рис. 3.12). В их состав входят толстостенные (иногда - многослойные) трубчатые опорные колонны, многотрубные проводники и ряд других массивных конструктивных элементов, в частности, деталь в виде сплошного стального цилиндра диаметром до 400 мм, входящую в состав крепежного узла силовой опоры платформы и представляющую большую трудность при демонтаже. На рис. 3.13 схематично изображены основные узлы платформы со взрывными устройствами для их демонтажа.

К взрывным технологиям демонтажа глубоководных платформ предъявляются жесткие требования по массе используемого ВВ и местоположению заряда. Так, например, в США такими требованиями предусматривается:

- а) резка опор и трубопроводов на глубине на 5 м ниже уровня дна;
- б) резка должна осуществляться изнутри (с внутренней поверхности трубы);
- в) количество ВВ на единицу длины реза во взрывном устройстве не должно превышать 9,8 кг/м, т.е. при внутреннем диаметре трубы 178 мм, чаще всего используемой для трубопровода, масса заряда не должна превышать 22 кг.

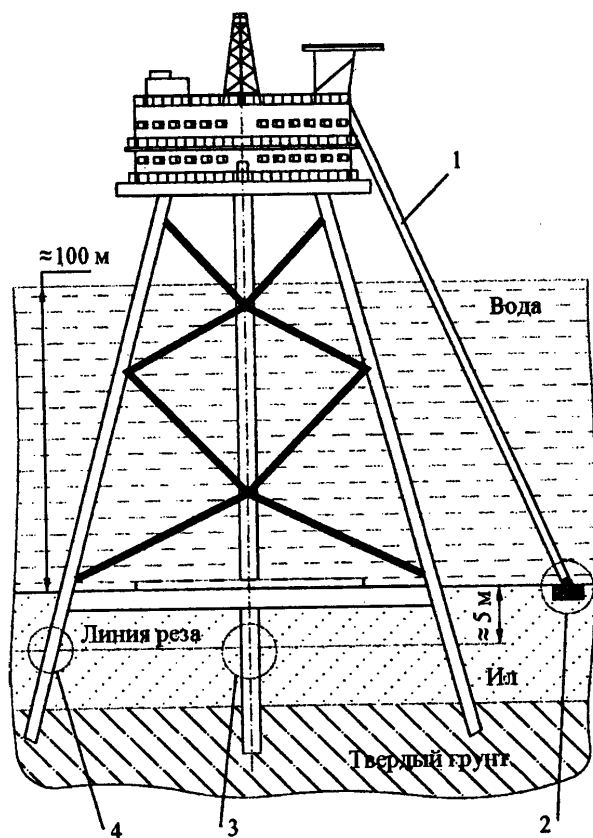


Рис. 3.12 Схема глубоководной нефтегазовой платформы:

1 – силовая опора; 2 – крепежный узел силовой опоры; 3 – многослойный проводник; 4 – опора (труба)

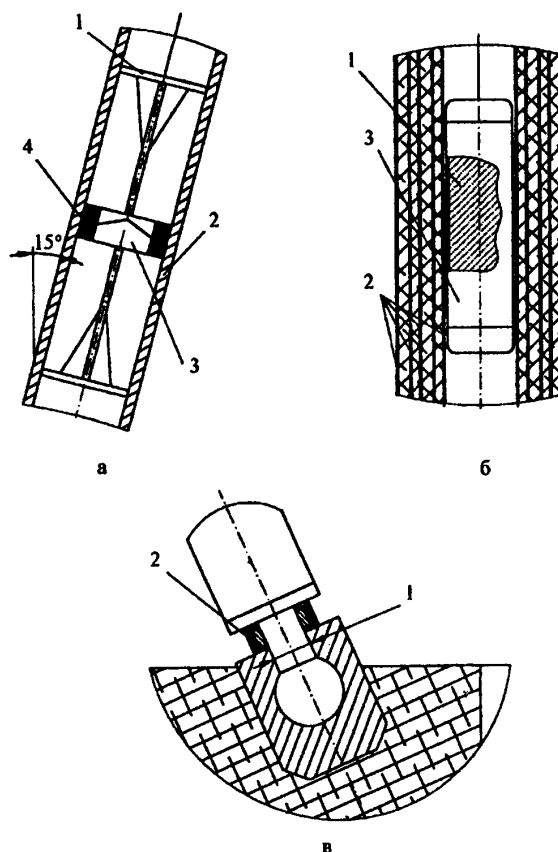


Рис. 3.13 Основные узлы морской стационарной платформы со взрывными устройствами для их демонтажа:

а – стальная опора: 1 – центратор; 2 – стальная труба; 3 – взрывной резак в рабочем положении; 4 – ВВ; б – многослойная труба проводника: 1 – ВВ; 2 – трубы; 3 – взрывное режущее устройство; в – силовая опора: 1 – стальной стержень; 2 – взрывной резак

Известны различные способы взрывной резки свай и проводников, разработаны взрывные устройства для демонтажа элементов платформ (кумулятивное, на принципе удлиненного взрывного резака (УВР), комбинированное), применение которых позволяет осуществлять демонтаж океанических нефтегазовых платформ при выполнении существующих экологических требований.

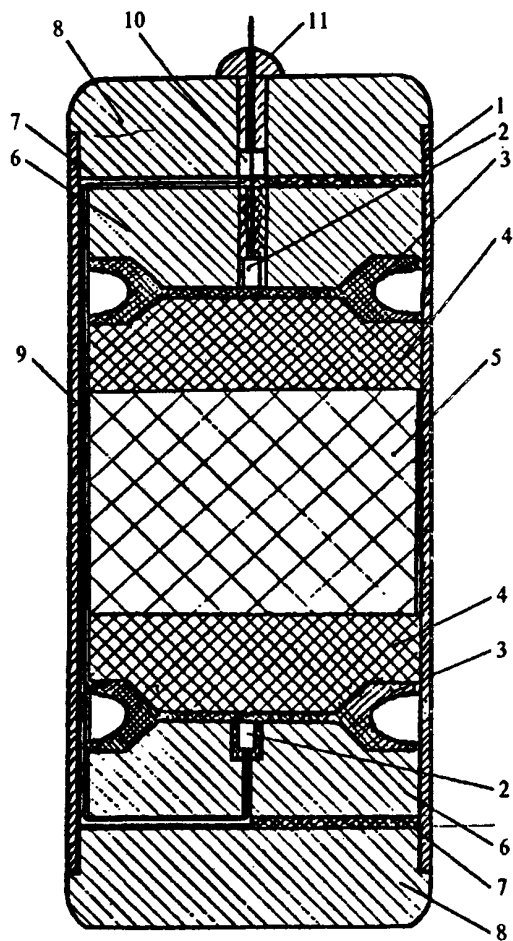


Рис. 3.14 Схема комбинированного взрывного устройства для резки многослойного трубопровода:

1 – корпус; 2 – ЭД; 3 – дисковыйкумулятивный заряд; 4 – детонационный распределитель; 5 – фугасный заряд; 6 – вкладыш; 7 – демпфирующая прокладка; 8 – крышка; 9 – провод; 10 – контактный разъем; 11 – гермоввод кабеля

подвески устройства.

Заряд ВВ расположен внутри корпуса и состоит из двух дисковыхкумулятивных зарядов 3, одного фугасного заряда 5 и двух многоточечных детонационных распределителей 4.

Для резки многослойных трубопроводов целесообразно применение комбинированных зарядов, позволяющих эффективно использовать фугасное действие ВВ.

По результатам предварительных расчетов и модельных экспериментов разработана схема комбинированного взрывного устройства для резки трубопровода, состоящего из трех концентрически расположенных труб с внутренними диаметрами 178, 600 и 1200 мм и затвердевшим цементным раствором в промежутках между ними (рис. 3.14).

Длина устройства 1190 мм, диаметр 146 мм, общая масса – 50 кг.

Устройство состоит из герметичного металлического корпуса 1 с верхней и нижней крышками. В верхней крышке имеется кабельный гермоввод 11 и резьбовое гнездо для крепления ремболта системы спуска и

Электродетонаторы 2 расположены в розетках фигурных вкладышей 6 с обеих сторон заряда ВВ. Провода 9 электроразводки электродетонаторов выходят к контактному разъему 10 в верхней крышке 8 гермоввода кабеля 11.

Между фигурными вкладышами 6 и крышками находятся демпфирующие прокладки 7.

Взрывное устройство работает следующим образом. При синхронном подрыве электродетонаторов 2 детонационные волны, распространяясь через детонационные распределители 4 навстречу друг другу, вызывают вначале детонацию в дисковых кумулятивных зарядах 3, а затем с временной задержкой – в фугасном заряде 5.

В результате срабатывания кумулятивных зарядов 3 формируются кольцевые кумулятивные струи, воздействующие на стенки трубы с образованием прорезей, закачивающихся в затвердевшем слое цементного раствора. Последующее воздействие волн разрежения и продуктов взрыва фугасного заряда 5 приводит к полному разрушению трубопровода.

Существенным требованием, необходимым для эффективной работы фугасного заряда, является размещение в трубопроводе вблизи торцов взрывного устройства двух массивных стальных заглушек, препятствующих разлету продуктов взрыва по оси трубопровода.

3.5 Основные правила безопасности при ледокольных и подводных взрывах

а) общие правила

Взрывание льда и подводные взрывные работы в реках, озерах и других водоемах могут проводиться только по согласованию с соответствующими контролирующими органами, в том числе органами рыбоохраны.

Пункты хранения ВМ выбираются таким образом, чтобы они были надежно связаны с местами работ дорогами, проезжими на протяжении всего ледоходного периода. Если таких дорог нет, пункт организуют вблизи каждого предполагаемого места взрывания.

Бригада взрывников может обслуживать несколько близко расположенных объектов. Состав команды рассчитывают согласно правилу: на каждого взрывника двое рабочих. Бригада должна располагать всем необходимым инвентарем, доставляемым на места до начала работ.

Движущиеся льдины на подступах к охраняемому объекту следует раскалывать накладными зарядами.

При проводке судов взрывные технологии применяют для разрушения перемычек между разводьями путем взрыва зарядов в направлении движения судов.

При снятии судна (ледокола), застрявшего на ледяном поле взрывают два ряда зарядов по 0,2...0,3 кг, заложенных на глубину 1...1,5 м в лед. Расстояние между зарядами в ряду 2...3 м, расстояние между рядами 1,5...2 м. Взрывание начинается со стороны кормы сериями по 2...3 заряда в каждом ряду.

Минимально допустимые радиусы опасной зоны при проведении ледокольных взрывных работ:

- при взрывании льда толщиной до 1 м – 100 м;
- при взрывании льда толщиной 1...2 м и заторов – 200 м;
- при взрывании льда толщиной более 2 м и заторов зарядами массой более 300 кг – 300 м.

Запрещается производить взрывные работы вблизи линий электропередач, подводных коммуникаций, промышленных и других

объектов без предварительного согласования с соответствующими организациями (владельцами этих объектов).

б) работы по взрыванию льда

Взрывание льда должно производиться под руководством лица технического надзора.

При работе с лодки, работающие должны обеспечиваться спасательными жилетами или страховочными поясами.

Взрывание зарядов должно производиться от середины реки к берегам, от крутого берега к пологому, в направлении против течения.

При дроблении льда одному взрывнику разрешается производить за один прием не более 12 поджиганий зажигательных трубок.

Бросание зарядов на плывущие льдины, на участки уплотнения шуги или заторы с берега либо непосредственно с защищаемого сооружения допускается в исключительных случаях. Такую работу может выполнять только взрывник, имеющий практический стаж на ледокольных работах не менее двух сезонов. При этом заряды должны бросаться по одному.

Длина огнепроводного шнура (зажигательной трубки) бросаемых зарядов должна быть не менее 0,15 и не более 0,25 м.

При взрывании ледяного покрова подводными зарядами они должны опускаться в прорубь или лунку на шпагате и прочих средствах, обеспечивающих надежное крепление.

Запрещается опускать заряды через проталины и промоины со льда.

Непосредственно перед опусканием заряда в воду размеры проруби (лунки) должны быть проверены.

При взрывании льда с судна выдача взрывчатых материалов разрешается только при наличии письменного распоряжения капитана судна по заявке руководителя взрывных работ.

в) лесосплавные взрывные технологии

Лесосплавные взрывные работы выполняются по специальному паспорту и имеют целью ликвидацию заторов при молевом сплаве и выполку вмерзшей древесины. При выполке вмерзшей древесины молевого сплава работа производится так же, как и при разделке майн. При этом следует стремиться к максимальной глубине погружения заряда.

Паспорт составляется из расчета одновременной выполки такого количества древесины, которое будет извлечено в течение смены.

Взрывание заторов молевого лесосплава приводит к порче большого количества древесины. Поэтому к нему прибегают в крайних случаях, когда разборка затора оказывается невозможной.

г) подводные взрывные технологии

При выполнении подводных взрывов состав бригад определяется в проекте взрывных работ.

Укладку зарядов может производить только взрывник.

При общей массе зарядов, превышающей 40 кг, должны использоваться самоходные плавсредства, оборудованные для производства взрывных работ.

При огневом взрывании общее число поджиганий в одном заезде не должно быть более пяти.

Для предохранения электровзрывной сети от разрывов силой течения необходимо обязательное дополнительное соединение зарядов между собой средствами, воспринимающими растягивающие усилия.

Взрывание зарядов должен проводить взрывник, осуществляющий их размещение.

Проверка исправности электровзрывной сети, подсоединение магистральных проводов к источнику тока и взрывание размещенных под

водой зарядов могут проводиться только тогда, когда плавсредство будет отведено от места взрыва на определенное проектом безопасное расстояние, но не менее, чем на 100 м.

Конструкция заряда должна быть такой, чтобы он свободно опускался на дно при погружении в воду.

К каждому опускаемому заряду должен прочно прикрепляться буй, видимый с судна (лодки) и с места, где размещен взрывной прибор.

Заряды должны опускаться в воду по команде взрывника или официально назначенного лица технического надзора.

При взрывании зарядом массой до 50 кг нахождение в воде водолазов или других лиц не допускается в радиусе 1000 м, а при зарядах более 50 кг – не менее 2000 м.

При производстве взрывных работ на реках оцепление и сигналы вверх по течению реки должны дополнительно выставляться на расстоянии не менее 500 м от установленной границы опасной зоны.

Выполнение взрывных работ в тумане или в темное время, а также при волнении воды свыше трех баллов или скорости ветра более 12 м/с запрещается.

Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте особенности проведения предупредительных мероприятий по беззаторному пропуску льда.
2. Назовите способы опускания зарядов ВВ под лед.
3. Изложите технологию ликвидации уже сформировавшихся ледяных заторов.
4. Каков механизм штамповки изделий подводным взрывом?
5. В чем состоят особенности установок для подводной штамповки взрывом?
6. Как выполняются дноуглубительные работы с применением энергии взрыва?
7. Какие требования предусматриваются к взрывным технологиям резки глубоководных нефтяных и газовых платформ?
8. Опишите схему комбинированного взрывного устройства для резки многослойного трубопровода.
9. Перечислите особенности лесосплавных взрывных работ.

10. Перечислите общие правила безопасности при ледокольных взрывах.

11. Перечислите основные правила безопасности при лесосплавных взрывных технологиях.

12. Перечислите основные правила безопасности при подводных взрывных технологиях.

Глава 4

ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПО МЕТАЛЛУ

Для современных науки и техники часто необходимы материалы с такими свойствами, размерами и формами, которые невозможно получить традиционными методами производства, включая обработку давлением. Применение нового, весьма перспективного процесса деформации металлов с использованием энергии взрыва существенно восполняет этот пробел.

В последние десятилетия существенно расширились области применения ВВ в металлургии и машиностроении. Разработаны новые технологии производства взрывом слоистых и волокнистых композиционных материалов с компонентами, которые невозможно соединить традиционными методами. В частности, с помощью взрыва можно получать сплавы металлов с резко различающимися температурами плавления, которые невозможно изготовить традиционными методами, поскольку они не могут одновременно существовать в жидком состоянии.

Например, чтобы сплавить вольфрам, плавящийся при 3410°C , с марганцем, кипящим уже при 2150°C , их порошки перемешивают, помещают в капсулу, соединенную с зарядом ВВ, и производят взрыв. В результате образуется требуемый сплав. С применением энергии взрыва получают полуфабрикаты и изделия, для производства которых нет или нецелесообразно создавать соответствующее деформирующее оборудование. Используя взрыв, упрочняют крупногабаритные криволинейные металлические изделия.

Энергия взрыва широко применяется при штамповке, чеканке, клепке, резке и других процессах обработки металлов. С помощью взрыва можно быстро и эффективно разрезать и штамповать самые разные металлы, упрочнять и сваривать изделия любой формы из различных металлов, вальцевать, пробивать отверстия и ставить заклепки.

Широко используется на практике в антикоррозионных целях или для увеличения срока службы элементов и деталей, работающих в агрессивных средах, нанесение покрытий на поверхность металлических изделий.

Особенно возросла роль ВВ в машиностроении с появлением новых сверхпрочных и тугоплавких сплавов, не поддающихся обработке традиционными методами. Например, шнуровые заряды из эластичных ВВ используют в современном судостроении и электромашиностроении для запрессовки труб в теплообменных аппаратах и парогенераторах, для формообразования трубчатых элементов в электрических машинах и аппаратах. Применение традиционных механических методов для этих целей обходится значительно дороже и гораздо менее производительно.

Обработка металла взрывом (сварка, штамповка, резка, упрочнение и др.), а также разработка шлаковых отвалов, разделка металлических «козлов» вне доменной печи и бронямы, валка рудно-грейферных кранов, врезка в трубопроводы и ведение других специальных взрывных технологий должна производиться в соответствии с проектом и разрабатываемыми предприятиями на каждый вид обработки инструкциями, согласованными с территориальными управлениями Госгорпромнадзора Украины.

Конструкция помещений и площадок, где проводится обработка металлов, должны быть рассчитаны на взрыв максимально допустимого заряда. Такие помещения и площадки должны приниматься в эксплуатацию комиссиями предприятий с участием представителей Госгорпромнадзора Украины и ежегодно комиссией предприятия (цеха и т.п.) с составлением акта о возможности дальнейшей эксплуатации.

Средства, предназначенные для подъема и перемещения технологической оснастки со смонтированным на ней зарядом, должны быть оборудованы двумя тормозами, действующими независимо друг от друга, а также концевыми выключателями автоматической остановки.

Остановимся подробнее на особенностях, теории, параметрах и технике безопасности основных видов взрывных технологий по металлу.

4.1 Штамповка взрывом

Штамповка взрывом была предложена в 40-х годах XX столетия в Харьковском авиационном институте, а в середине 50-х годов уже широко применялась при изготовлении крупных деталей для самолетов и ракет.

При штамповке взрывом отпадает необходимость в мощных, дорогостоящих прессах – требуется только матрица. Кроме того, эта матрица может быть изготовлена из дешевого, легко поддающегося обработке материала, например, из... льда. Такие матрицы позволяют с высокой точностью штамповать изделия из сталей. Штамповкой взрывом успешно изготавливают крупные машиностроительные детали различной конфигурации (сферические, эллиптические, параболические и др.). Взрывным формоизменением можно получить сотовые панели, имеющие – средний слой из различных материалов (пластмассовых и металлических), с различной формой ячеек (шестигранник, квадрат и т.п.). Этот метод исключает несоответствие контуров, так как все три слоя сотовой панели штампуются одновременно. Метод штамповки взрывом особенно эффективен при изготовлении куполообразных сотовых конструкций. Допустима в одну операцию штамповка с отбортовкой, гибкой, просечкой отверстий и т.д. При штамповке взрывом четко оформляются радиусы закруглений и сопряжений.

Еще одним преимуществом нового технологического процесса является возможность формировки предварительно термообработанных (закаленных) металлов без заметного изменения их твердости. Использование энергии взрыва для штамповки позволило создать принципиально новые методы металлообработки, например, ударной волной в воде – передаточной среде, работающей с большим коэффициентом полезного действия.

В процессах обработки металлов давлением все большее распространение находят методы листовой штамповки взрывом. Этими способами получают изделия разных профилей и переменного сечения.

При штамповке взрывом можно создавать большие давления и формовать изделия практически неограниченных размеров с высокой точностью. Применяемое оборудование по конструкции простое, невысокой стоимости.

4.1.1 Характеристика и классификация способов

Источниками взрывного нагружения на заготовку могут быть детонация бризантного ВВ, горение пороха, горение газовых смесей. Импульсные способы листовой штамповки можно представить в виде следующих основных схем (табл. 4.1).

При деформации по схемам 1 и 2 давление газов передается на заготовку через воду. Давление на поверхности заготовки распространяется равномерно, что позволяет получать изделия с меньшей разнотолщинностью.

По схемам 3 и 4 продукты газовой детонации действуют непосредственно на заготовку, а по схеме 5 усилие передается через систему поршень - вода.

По схемам 6...11 в качестве энергоносителя используют пороха. Эти схемы по сравнению с другими используют редко.

Прессование бризантными ВВ показано на схемах 12...18. В случае контактных операций заряды (твердые, насыпные или пластичные) располагают непосредственно на заготовке, а в случае дистанционных операций - на определенном расстоянии от нее.

В табл. 4.2 показана классификация заготовок и для примера некоторые детали, получаемые методом листовой штамповки взрывом и совмещенных операций (формовка и пробивка отверстий, раздача и обжим и т.п.).

В соответствии с этой классификацией все случаи импульсной штамповки сводят, в зависимости от формы заготовки, в четыре группы: плоские заготовки с круглым, прямоугольным и более сложным контуром; заготовки, имеющие сложную пространственную кривизну с незамкнутой поверхностью; цилиндрические; конические заготовки.

Таблица 4.1

Основные схемы импульсной штамповки

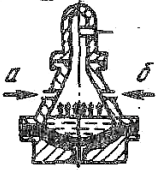
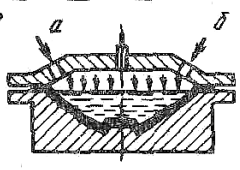
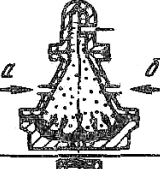
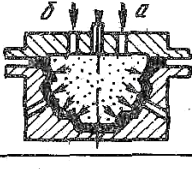
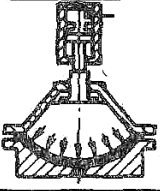
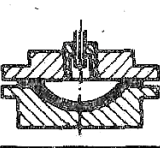
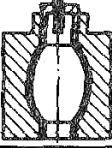
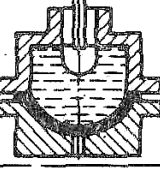

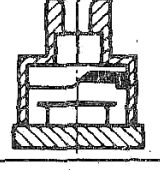
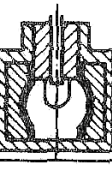
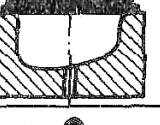
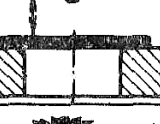
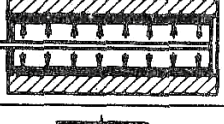

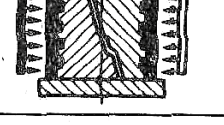
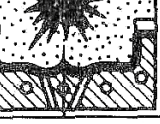
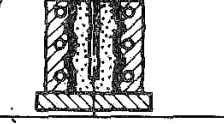
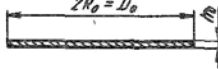
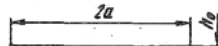


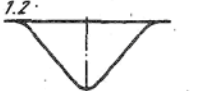


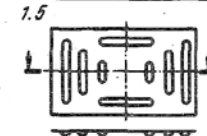

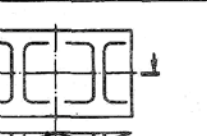


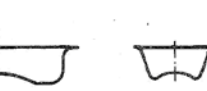
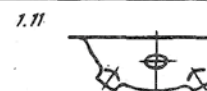

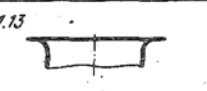

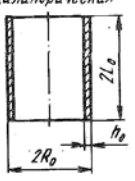
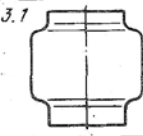
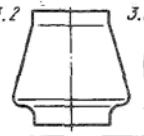
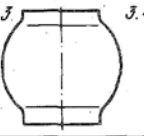
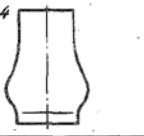
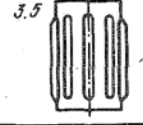
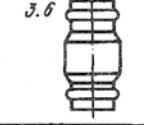

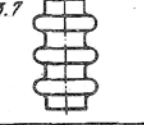
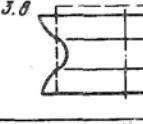
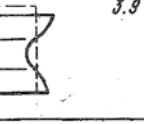
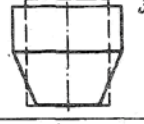

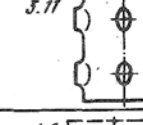
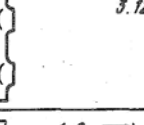
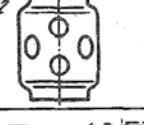

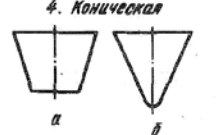

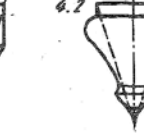

Энергоноситель	Передача давления на заготовку	Вид заготовки	
		Плоская	Пространственная
Газовые смеси (а - горючие газовые смеси; б - кислород)	Через жидкость	1 	2 
	Непосредственно	3 	4 
	Через поршень - воду	5 	—
Пороха	Непосредственно	6 	7 
	Через жидкость	8 	9 
	Через инструмент	10 	11 
Б. В. В.	Непосредственно	12 	—
	Через воздух	13 	14 
	Через жидкость	15 	16 
	Через сыпучую среду	17 	18 

Таблица 4.2

Классификация листовых заготовок и деталей, штампованных взрывом

Форма исходной заготовки	Вид операции	Примеры	
1	2	3	
<p>1. Плоская</p> <p>1.1. Круглая $2R_0 = D_0$</p>  <p>1.2. Прямоугольная</p>  	Простые	<p>1.1</p>  <p>1.2</p>  <p>1.3</p>  <p>1.4</p> 	
	Формовка	<p>1.5</p>  <p>1.6</p>  <p>1.7</p> 	
	Сложные	Вытяжка + формовка (пробивка)	<p>1.8</p>  <p>1.9</p>  <p>1.10</p> 
		Вытяжка + формовка (дартовка) + пробивка	<p>1.11</p>  <p>1.12</p>  <p>1.13</p> 
2. Поверхность двойной кривизны	Пространственная гибка - бартовка		
<p>3. Цилиндрическая</p> 	Простые	<p>3.1</p>  <p>3.2</p>  <p>3.3</p>  <p>3.4</p> 	
	Формовка или пробивка	<p>3.5</p>  <p>3.6</p>  <p>3.7</p>  <p>3.8</p> 	
	Сложные	Раздача + обжим	<p>3.9</p>  <p>3.10</p>  <p>3.11</p>  <p>3.12</p> 
		Пробивка + дартовка (раздача + пробивка)	<p>3.13</p>  <p>3.14</p>  <p>3.15</p>  <p>3.16</p> 
<p>4. Коническая</p> 	1. Раздача 2. Формовка 3. Калибровка	<p>4.1</p>  <p>4.2</p>  <p>4.3</p> 	

Контактные операции применяют в большинстве случаев для выдавливания, гибки, вырубки, а также резки толстых плит. Однако наиболее распространена формовка с применением дистанционных операций. В качестве передающей среды используют жидкость, воздух, сыпучие материалы.

При использовании воздуха (см. табл. 4.1, схемы 13, 14) давление на заготовку в несколько раз меньше, чем при использовании жидкости (см. табл. 4.1, схемы 15, 16) или сыпучего материала (см. табл. 4.1, схемы 17,18).

В практике наибольшее применение получили более плотные передающие среды, так как они обеспечивают равномерное распределение давления по поверхности заготовки.

В качестве жидкой передающей среды обычно используют воду, которая уменьшает звуковой эффект и предотвращает проникновение продуктов взрыва в металл заготовки. Обобщенная схема гидровзрывной штамповки показана на рис. 4.1.

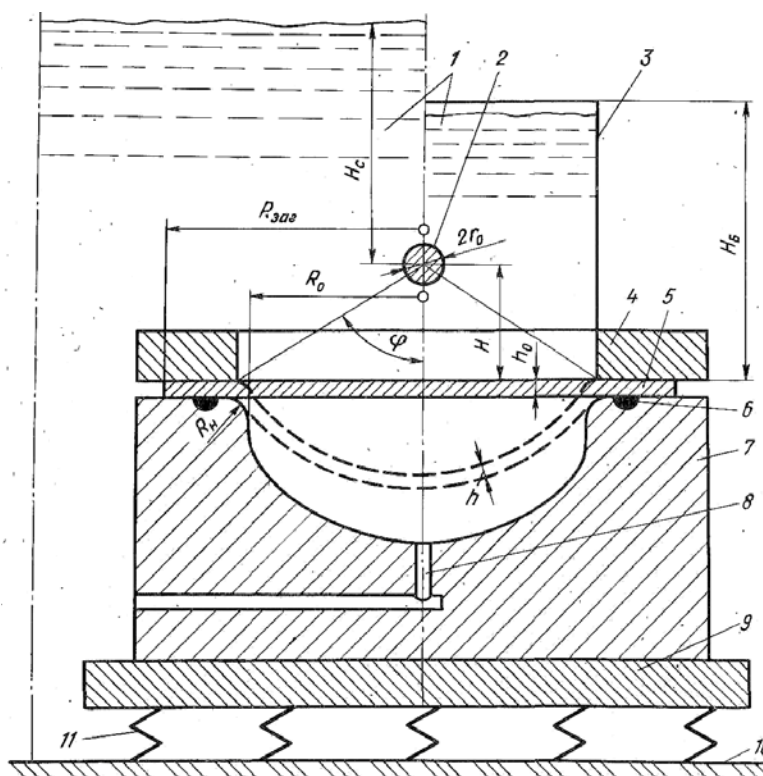


Рис. 4.1 Обобщенная схема гидровзрывной штамповки:

1 – передающая среда; 2 – заряд ВВ; 3 – стенка бассейна; 4 – прижимное кольцо; 5 – заготовка; 6 – уплотнитель; 7 – матрица; 8 – система вакуумирования; 9 – фундамент; 10 – грунт; 11 – система подпружинивания фундамента

На матрицу 7 устанавливают заготовку 5, расположенную по отношению к матрице определенным образом. Прижимное кольцо 4 обеспечивает усилие прижима фланца и вместе с уплотнением 6 обеспечивает герметизацию полости матрицы. Освобожденная детонацией

энергия заряда ВВ 2 передается к заготовке 5 передающей средой 1. Заряды могут иметь сосредоточенную сферическую или цилиндрическую форму, а также линейную с отношением высоты (длины) заряда к диаметру больше четырех. Матрицы для штамповки должны быть прочными, жесткими, герметичными, обеспечивать быстрое удаление воздуха из рабочей полости, к тому же дешевыми, удобными в эксплуатации, с соответствующей чистотой обработки поверхности.

Особенности штамповки металлов взрывом в воде изложены в 3.2.

4.1.2 Технологические параметры штамповки металлов взрывом

Важным достоинством использования энергии взрыва при листовой штамповке является возможность широкого регулирования деформирования металла с целью максимального использования пластических свойств последнего. Регулирование осуществляют выбором технологических параметров и приемов.

К основным технологическим параметрам штамповки взрывом относят массу и форму заряда, расстояние от заряда до заготовки и до граничных поверхностей передающей среды, коэффициент вытяжки. Кроме этого, при разработке технологической схемы выбирают тип передающей среды, рассчитывают глубину вакуума в полости матрицы, величину прижима и учитывают еще некоторые факторы, влияющие на процесс штамповки.

4.1.2.1 Расчет величины заряда. Величина заряда должна быть минимально необходимой для осуществления заданного формоизменения. Лишнее увеличение массы заряда приводит к преждевременному износу матрицы и взрывного бассейна. Точный расчет необходимой величины заряда весьма труден вследствие многообразия факторов, влияющих на процесс формирования взрывом.

Наиболее полно разработана методика расчета величины заряда, основанная на установлении зависимости между энергией, необходимой для деформации металлической заготовки, и энергией, развиваемой ВВ.

По данной методике получены формулы для определения массы, кг, заряда в зависимости от его формы:

- сферического

$$Q = [aSR^{1.8}N / (1 - V^2)]^{0.8}, \quad (4.1)$$

- линейного

$$Q = [aSR^{0.55}M / (1 - V^2)]^{0.8}, \quad (4.2)$$

где R – расстояние по нормали от центра заряда до заготовки;
 a – потребная энергия пластической деформации, отнесенная к единице поверхности заготовки;
 S – толщина заготовки;
 V – коэффициент отражения ударной волны, равный отношению давлений в падающей и отраженной волнах;
 M, N – коэффициенты, зависящие от плотности штампуемого материала.

Значения используемых в формулах (4.1) и (4.2) коэффициентов приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Коэффициенты для определения количества ВВ при взрывной штамповке

Штампуемый материал	ρ , кг/м ³	Значения коэффициентов		
		$1 - V^2$	$N, 10^6$	$M, 10^6$
Алюминиевые сплавы	2800	0,824	0,494	79,7
Титановые сплавы	4500	0,813	0,792	128
Стали	7800	0,871	1,376	222

Формулу (4.1) применяют для расчета ВВ при штамповке взрывом деталей диаметром менее 1 м. Для штамповки взрывом деталей диаметром более 1 м количество ВВ определяют по формуле:

$$Q = 1.45h_0D_{заг}\sigma_e10^{c/g}, \quad (4.3)$$

где c – скорость звука;

g - ускорение свободного падения;

$D_{заг}$ – диаметр заготовки.

Одним из основных параметров, определяющих эффективность процесса штамповки взрывом, служит коэффициент вытяжки m , характеризующий способность металла к вытяжке, а именно:

$$m = D_0 / D_{заг} \text{ или } k = 1/m = D_{заг} / D_0, \quad (4.4)$$

где D_0 - диаметр готовой детали.

Значения граничных коэффициентов вытяжки для некоторых материалов (сталей) даны ниже:

Материал	Ст. 3	2Х13	1Х18Н9Т
$m_{ср}$	0,645	0,64	0,63
$k_{ср}$	1,55	1,56	1,58

4.1.2.2 *Форма и расположение заряда* влияют на форму фронта волны и продолжительность давления на заготовку, т.е. определяют характер распределения давления на заготовку. Поэтому подбором формы заряда можно влиять на характер распределения деформации по сечению заготовки.

Заряд ВВ обычно имеет форму сферы, сплошного или полого цилиндра, конуса, листа, шнура. Установлено, что волна, параллельная образующей заряда, обладает большей силой, чем волна, распространяющаяся под углом к образующей заряда.

Форма заряда обычно определяется геометрией изготавливаемого изделия. Например, для изделия с протяженной мелкой выемкой обычно применяют заряд в виде шнура или тонкого стержня. Такой же заряд применяют при обработке длинных цилиндрических деталей. Неглубокие изделия с большой площадью поверхности обрабатывают зарядами в виде полос или сетки из детонирующего шнура. С целью увеличения нагрузки на определенном участке поверхности располагают несколько зарядов.

Скорость деформирования заготовки также зависит от формы заряда. При применении сферических, цилиндрических и конических зарядов она составляет 40...65 м/с, а при использовании кольцевых зарядов 70...82 м/с.

При очень высоких скоростях деформирования заготовка может разрушиться без заметной деформации. Это явление свидетельствует о том, что при штамповке взрывом существует некоторая максимальная энергия, которую способна выдержать заготовка за определенное время. При увеличении времени действия ударной волны заготовка способна поглотить большее количество энергии, т.е. может выдержать большую вытяжку. Следовательно, для успешного проведения операции штамповки необходимо уметь регулировать время воздействия ударной волны. Такое регулирование можно осуществлять увеличением числа переходов, изменением расстояния между зарядом и заготовкой и применением различных передающих сред.

Расположение зарядов может быть как последовательным, так и каким-либо иным. Например, вокруг первого заряда можно расположить несколько более мелких зарядов, которые взрываются под действием взрыва центрального заряда. Регулирование времени действия последовательно проводимых ударных волн достигается также соединением всех зарядов одним детонационным шнуром, скорость детонации которого превосходит скорость распространения первой ударной волны.

Расстояние между зарядом и заготовкой значительно влияет на деформирование заготовки. Известно, что, чем ближе расположен заряд, тем эффективнее процесс вытяжки. Однако при малом расстоянии между зарядом и заготовкой, деформируемость заготовки уменьшается вследствие превышения критического ускорения деформации, допустимого для данного материала.

4.1.2.3 Передающая среда. При дистанционных операциях энергию, выделившуюся при взрыве, передают заготовке через промежуточную среду: воздух, воду, масло, желатин, тальк, песок и др. В большинстве технологических операций в качестве передающей среды используют воду, реже воздух, другие материалы используют только при некоторых специальных операциях.

Имеются данные, показывающие зависимость геометрических размеров и формы образцов от массы и типа передающей среды. При штамповке через воду максимальное утончение и максимальная кривизна находятся в центре сформованной заготовки; при штамповке через резину - вблизи перетяжного ребра матрицы; при штамповке через песок указанные величины занимают промежуточные положения.

Различается и характер разрушения: при штамповке через воду предельным по массе зарядом разрушение начиналось в центре лунки, а при штамповке через резину и песок - ближе к периферии. Указанные явления можно объяснить распространением пластических волн в металле. Выше отмечалось, что при прямом симметричном ударе по заземленной круглой пластине в последней распространяется упругая волна и следующая за ней пластическая. Скорость упругой волны больше скорости пластической. При возрастании пластической деформации указанное соотношение скоростей может быть нарушено, в результате чего может возникнуть сосредоточенная деформация позади волны изгиба. Это может привести к нарушению процесса формоизменения и разрушению материала. На образование пластических волн и появление сосредоточенной деформации большое влияние оказывает поверхностное трение. При штамповке через воду трение на поверхности заготовки практически отсутствует, поэтому волны распространяются по всей заготовке.

При использовании в качестве передающей среды резины и песка в центральной части заготовки возникает значительное трение, препятствующее распространению пластических волн. В периферийных зонах нагрузка меньше и, следовательно, меньше трение, что уменьшает поглощение пластических волн и приводит к появлению сосредоточенной деформации.

4.1.2.4 Нагрев заготовки применяют для понижения сопротивления деформации, повышения пластических свойств деформируемых металлов и сплавов. Хорошо зарекомендовал себя способ нагрева с помощью

пиротехнического состава. Изменяя количество наносимого на заготовку этого состава с применением разных термоизоляционных покрытий можно добиться необходимого изменения пластических характеристик штампуемого материала. Кроме того, данный способ нагрева позволяет достигать местного разогрева металла, например, околошовных зон сварных заготовок.

Применение при штамповке с нагревом твердых и сыпучих передающих сред позволяет достигать необходимых температур нагрева, а также получать постепенное нарастание давления на заготовку.

4.1.2.5 Удаление воздуха из рабочей полости матрицы. Вследствие высокой скорости протекания процесса штамповки взрывом воздух, находящийся в рабочей полости матрицы, который не успевают удалить, захватывается и подвергается резкому сжатию. В местах соприкосновения воздуха с заготовкой возникают большие давления и силы трения, приводящие к локальному разогреву заготовки. После спада давления происходит расширение воздуха, вызывающее искажение детали, особенно тонкостенной.

Существует два способа удаления воздуха из полости штампа. Наиболее простой – создание в матрице каналов, через которые воздух выталкивается во время прессования. Диаметр отверстий должен быть минимальным – меньше толщины заготовки для предотвращения местной ее деформации в местах отверстий. Общая площадь отверстий в матрице должна обеспечивать полное удаление воздуха за время операции. Однако такая система отвода воздуха не может обеспечить хорошего качества изделия, так как всегда на ее поверхности остаются отметки в местах отверстий в матрице. Поэтому отвод воздуха через отверстия применяют только при штамповке толстых заготовок при невысоких требованиях, предъявляемых к качеству поверхности детали.

Второй способ удаления воздуха из полости матрицы заключается в откачке воздуха перед операцией штамповки с помощью вакуумной системы.

Вакуумная система состоит из насосной станции и гибких шлангов, соединяющих полость матрицы с насосами. Установлено, что при штамповке даже очень тонких заготовок достаточной является глубина вакуума 13 МПа. Применение такой системы позволяет получать изделия с высоким качеством поверхности.

4.1.3 Оснастка и оборудование для штамповки металлов взрывом

Существенным достоинством оснастки для штамповки взрывом является ее конструктивная простота и сравнительно невысокая стоимость. По внешнему виду оснастка для штамповки взрывом напоминает применяемую при штамповке на прессах. Специфическим требованием, предъявляемым к оснастке для штамповки взрывом, является герметичность полости между заготовкой и рабочей поверхностью матрицы и возможность быстрого удаления воздуха из этой полости.

Важным элементом в оснастке, определяющим качество изделия, является матрица. Матрицы могут быть цельные или разъемные.

В случаях, когда штамповка осуществляется без предварительного вакуумирования для герметизации используют резиновые прокладки.

Разъемные матрицы используют для штамповки изделий трубчатой формы. Половинки матрицы собирают при помощи болтов или контейнера-муфты. В этих матрицах также предусматривают уплотнения и устройства для вакуумирования рабочей полости.

Для изготовления матриц, используемых при формовке взрывом, применяют разные материалы: от высокопрочной инструментальной стали до бетонов и пластических масс сравнительно низкой прочности. Требования, предъявляемые к прочности материала матрицы, определяются массой заряда, расстоянием между зарядом и заготовкой, свойствами и размерами обрабатываемого изделия, его формой, требуемыми допусками. Кроме того, при выборе материала матрицы учитывают количество намеченных к изготовлению деталей.

Матрицы с относительно низкой прочностью применяют, главным образом, при мелкосерийном производстве деталей с большими допусками. С увеличением количества производимых деталей, увеличением параметров взрывной обработки прочность матрицы повышают.

При средних давлениях и крупных деталях рекомендуется применять матрицы из бетона. При высоком давлении и крупносерийном производстве матрицы изготавливают из металлов. При низком давлении и крупных деталях целесообразно применять бетонные матрицы, облицованные эпоксидной смолой. Для изготовления таких матриц сначала отливают гипсовую модель полости матрицы, наружную поверхность которой покрывают слоем эпоксидной смолы толщиной до 25 мм. Затем вокруг гипсовой модели сооружают опалубку с арматурой и в опалубку заливают высокопрочный бетон. После затвердевания бетон вместе с эпоксидной смолой снимают с гипсовой модели, получая готовую матрицу.

Для предотвращения складкообразования (сморщивания) металла и частичного регулирования степени вытяжки применяют прижимные кольца (см. рис. 4.1). Конструкция прижимного кольца зависит от размера и формы изготавливаемой детали. При изготовлении небольших деталей с углом входа в матрицу более 45° применяют плоские прижимные кольца. Для пологой матрицы с малым углом входа прижимное кольцо изготавливают с охватывающим бортом.

Требуемое прижимное усилие зависит от толщины и свойств заготовки. Наиболее трудно удерживать в захвате такие материалы как титан и упрочняемый алюминий. Легко удерживаются отоженный алюминий, нержавеющая сталь, тантал и др.

При производстве крупных изделий применяют жесткий прижим, когда прижимную плиту с помощью зажимов, например клиновых, наглухо прикрепляют к прижимному кольцу матрицы так, чтобы лежащая между ними заготовка имела небольшой зазор (равный 8...15% толщины

штампующего металла), позволяющий ей деформироваться и в то же время препятствующий складкообразованию.

Складкообразование на сферической поверхности предотвращают также при помощи прижима, действующего на фланец. При появлении складок на сфере необходимо затруднить вытекание металла из-под прижима, уменьшив зазор между заготовкой и прижимом. В результате этого зона сжимающих напряжений сместится к фланцу при соответствующем увеличении растягивающих напряжений, что ликвидирует образование гофров на сфере.

Установка для штамповки взрывом в воде описана в 3.2.

Известна пневматическая оболочка, при помощи которой можно создать необходимые условия для штамповки взрывом. Эта оболочка имеет ряд преимуществ перед капитальными конструкциями. Она поддерживается перепадом давления, которое обеспечивается вентилятором с автоматическим устройством для контроля подачи воздуха. Пневматическая оболочка очень устойчива против динамических усилий, передающихся через грунт, и наиболее безопасна при аварийном взрыве, так как не образует осколков.

На рис. 4.2 показана схема листовой штамповки с метанием передающей среды. Вода на свободной поверхности обладает значительной скоростью, которая в два раза больше скорости в глубине потока и, следовательно, имеет большую энергию. Штамповка с метанием передающей среды позволяет увеличить к.п.д. процесса на 40%, организовать штамповку подогретых заготовок, регулировать импульс изменением массы воды и т.п.

Совмещение операций штамповки в одном бассейне показано на рис. 4.3. Данный способ применяют для штамповки одинаковых и различающихся между собой малогабаритных деталей. В бассейне 1, заполненном водой 2, поддерживается матрицедержатель 3 в виде массивного кольца при помощи каната 4 на стойке 5. Заряд ВВ 6 размещают в центре матрицедержателя при помощи центрирующего устройства 7. Матрицы 8 числом от трех до восьми

располагают симметрично в матрицедержателе. Каждая матрица имеет свое прижимное кольцо и заготовку. Удаляют воздух из матрицы посредством коллектора 10 с гибким шлангом 11 и вакуумным насосом 12. Данный способ позволяет увеличить производительность, а также повысить к.п.д. за счет использования отраженных волн.

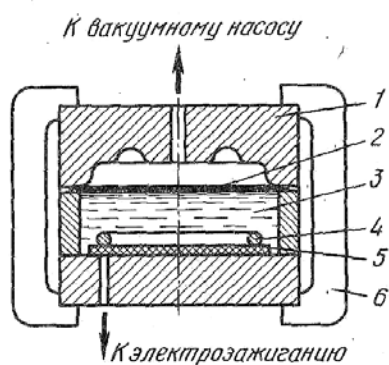


Рис. 4.2 Схема штамповки с метанием взрывом передающей среды:

1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – вода;
4 – заряд ВВ; 5 – предохранительная прокладка; 6 – замки

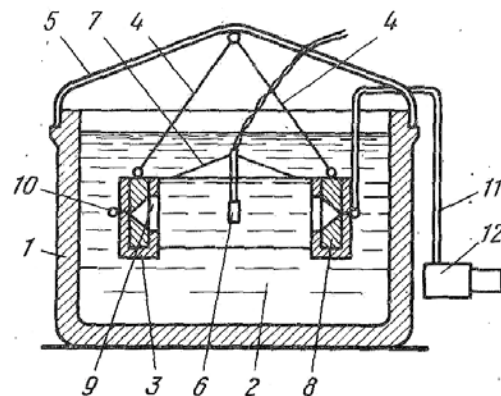


Рис. 4.3 Схема штамповки взрывом при совмещении операций по времени:

1 – бассейн; 2 – вода; 3 – матрицедержатель; 4 – канат; 5 – стойка;
6 – заряд ВВ; 7 – центрирующее устройство; 8 – матрица; 9 – заготовка; 10 – коллектор; 11 – гибкий шланг; 12 – вакуум-насос

С целью уменьшения и полного исключения звукового и сейсмического эффектов применяют вакуумные бронекамеры самых разнообразных конструкций. Специальная форма некоторых из них в сочетании с двойным потолком, прикрепленным при помощи демпфирующих устройств, позволяет провести до 1800 взрывов с массой ВВ 1,5 кг без разрушения камеры.

4.2 Прессование взрывом некомпактных материалов

Методами порошковой металлургии можно создавать композиции, недоступные для обычных способов изготовления. Например, нельзя сплавить обычными методами вольфрам и медь, так как они почти

нерастворимы взаимно и имеют разность температур плавления 200°C. Если смесь этих порошков спрессовать и спечь, то можно получить псевдосплавы с любым содержанием компонентов. Такие сплавы находят широкое применение в качестве компактных материалов для электротехнических целей. Из металлических порошков можно получить:

- псевдосплавы из металлов, не сплавляющихся и не соединяющихся между собой;
- металлы и сплавы с равномерной мелкозернистой структурой, высокой степенью химической чистоты и любого заданного состава;
- изделия из металлов с точным регулированием пористости и размеров пор;
- изделия из металлов с неметаллическими соединениями типа карбидов, силицидов, боридов и т.п.; изделия заданных сложных форм и точных размеров без механической обработки или с минимальной доводкой;
- металлы и сплавы, упрочненные включениями тонкодисперсных оксидов и других химических соединений, а также армированные высокопрочными волокнами, проволокой;
- изделия с высокой степенью использования исходного материала, достигающей 90%, тогда как методом литья она не превышает 20...50% (для титана 15...25%).

Однако расширение номенклатуры материалов за счет труднопрессуемых композиций, увеличение габаритных размеров и усложнение их формы приводит к тому, что традиционные методы изготовления металлокерамических изделий становятся нерациональными или вообще невозможными. Эффективным в этом случае является прессование взрывом.

Перечислим основные преимущества прессования взрывом. Уплотнение порошков металлов взрывом достигает 99% от теоретической плотности. Обычно после термической обработки спеченных механическим способом порошков усадка составляет 15...25%. Спекание взрывом порошков железа, никеля, меди, ниобия, вольфрама, карбидов титана и

вольфрама, окиси алюминия, графита показало, что при последующей термической обработке усадка изделий снижается до 1...5%.

При взрывном прессовании не происходит одновременного уплотнения по всему объему изделия. Ударная волна, проходя через порошок, оставляет за собой спрессованный материал. Высокая скорость нагружения в очень короткое время ударного импульса приводит также к повышению температуры до значений порядка точки плавления прессуемого материала и вызывает спекание заготовки.

Возрастание внутренней энергии при деформации взрывом намного больше в порошковых веществах по сравнению с монолитными материалами. На энергию ударной волны влияет начальный удельный объем порошковой заготовки и исходная плотность, а также размер, форма частиц и их состояние (наклепанные или отожженные частицы).

4.2.1 Общая характеристика способов и средств импульсного прессования металлических порошков

Если за основу взять энергоноситель, то существующие в настоящее время способы импульсного прессования металлических порошков можно разделить следующим образом:

- прессование с помощью порохов;
- прессование бризантными ВВ;
- прессование с использованием взрывчатых газообразных смесей или взрывоподобного расширения высокосжатых или сжиженных газов.

Применение того или иного энергоносителя в разных операциях прессования взрывом позволяет в широких пределах регулировать прилагаемое давление, продолжительность его действия и, в определенной степени, регулировать процесс деформации металлических порошков и получения определенного комплекса свойств изделий. Особое внимание при этом обращается на достижение однородной плотности в сечении заготовки: требуется весьма тщательный выбор параметров прессования.

4.2.1.1 Прессование взрывом порошков с использованием пороховых зарядов. Пороха имеют склонность к взрывчатому превращению - горению, но скорость горения их относительно мала, порядка нескольких метров в секунду. Поэтому для создания давлений, необходимых для осуществления деформации металлических порошков, пороха применяют только в замкнутых объемах. Продукты горения в закрытом объеме развивают высокое давление, которое действует на прессуемый материал непосредственно или через определенную передающую промежуточную среду.

Развиваемое давление для данного сорта пороха можно варьировать изменением плотности заряжания. На практике получить высокую плотность заряжания весьма трудно, поэтому давление пороховых газов в замкнутом объеме, как правило, не превышает 0,5...0,7 ГПа.

При прессовании некомпактных материалов применяют пороха в качестве энергоносителя в трех направлениях:

- прессование в копрах, пушках, динамических прессах и т.п. установках, использующих метательные свойства порохов для перемещения рабочего инструмента - пуансона;
- прессование непосредственным воздействием пороховых газов на порошок, когда сжатые продукты горения играют роль пуансона;
- гидродинамическое прессование, когда передача давления продуктов сгорания порохового заряда на прессуемый материал осуществляется через жидкость.

Установки первого типа позволяют механизировать и автоматизировать процессы взрывного прессования. Общим для всех установок данного типа является то, что снаряду - пуансону сообщается кинетическая энергия, которая передается уплотняемому материалу через промежуточную среду или непосредственно.

В качестве примера установок такого типа приведена схема баллистического прессы (рис. 4.4), представляющего собой ствол 4 с

закрепленной на нем матрицей 6. Снаряд 3, разгоняясь под действием продуктов сгорания порохового заряда 2, ударяет по пуансону 5 и производит уплотнение порошка. Воздух, сжатый движущимся снарядом, вытесняется через боковые отверстия в матрице.

В таком прессе при давлении 5 ГПа на порошок железа в течение 0,01 сек. достигалась плотность заготовок 7700 кг/м^3 .

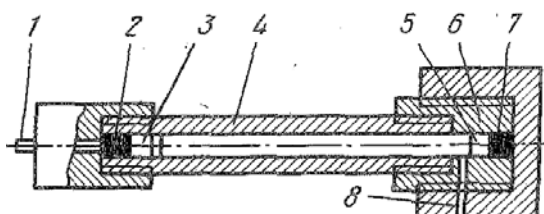


Рис. 4.4 Схема баллистического прессы:

1 – боевик; 2 – пороховой заряд; 3 – снаряд; 4 – ствол; 5 – пуансон;
6 – матрица; 7 – прессуемый порошок; 8 – отверстие для выхода воздуха

На рис. 4.5 изображена схема прессования порошка на установке, в которой давление на прессуемый материал осуществляется непосредственно пороховыми газами передающей среды. Максимальное давление регулируется подбором определенного числа медных предохранительных дисков.

Давление, развиваемое в этом процессе, достигает 35...70 МПа.

4.2.1.2 Гидродинамическое прессование. Наиболее перспективным для превращения металлических порошков в сложные изделия является способ гидродинамического прессования.

В замкнутом объеме (рис. 4.6) от электровоспламенителя 3 вспыхивает пороховой заряд 2. Продукты горения, действуя через поршень 4 на жидкость 5, создают в последней высокое давление и уплотняют порошок 6, заключенный в резиновую оболочку. Давление в камере достигает 350...420 МПа.

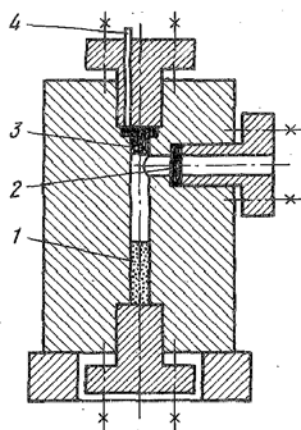


Рис. 4.5 Схема прессования пороховых газов непосредственным воздействием:

1 – прессуемый порошок; 2 – предохранительные диски; 3 – пороховой заряд; 4 – боевик

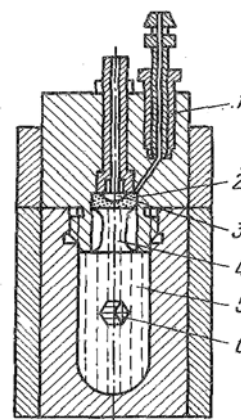


Рис. 4.6 Схема гидродинамической установки Мак-Кенна:

1 – клапан для сброса давления; 2 – пороховой заряд; 3 – электровоспламенитель; 4 – поршень; 5 – жидкость; 6 – порошок

В последнее время создано новейшее оборудование для гидродинамического прессования порошков, в том числе установки с рабочей камерой диаметром 40...350 мм и высотой 200...1000 мм, развивающие максимальные давления 0,6...1,0 и 1,5 ГПа.

На рис. 4.7 показана схема гидродинамической машины ГДМ-160.

В корпусе 8 расположена камера высокого давления 10, заполненная рабочей жидкостью - водой, маслом. В камере размещен прессуемый порошок 9 в эластичной оболочке, поршень 7 и гильза 5 с пороховым зарядом 6. После герметизации камеры, посредством затвора 3 и инициирования капсюля-воспламенителя 4, происходит сгорание пороха и образуется высокое давление газов, вызывающее перемещение поршня и создающее в жидкости высокие импульсные давления, уплотняющие порошок с вариацией плотности менее 1%.

Сопоставление характерных особенностей процессов гидродинамического (ГД) и гидростатического (ГС) прессования порошков, показало следующее.

При ГД-прессовании отпадает надобность в устройствах для герметизации рабочей камеры, конструкция ГД-установок проще, надежность выше лучших ГС-установок, стоимость ГД-прессования ниже,

так как дорогостоящее оборудование для создания высокого давления заменяется небольшим зарядом пороха.

В машинах ГД-прессования при взрывном уплотнении разрушаются оксидные пленки на частицах, что способствует лучшему образованию металлических связей и улучшению свойств спрессованных заготовок. Временное сопротивление спрессованных заготовок (неспеченных) при сжатии повышается на 25...30%, а удельная вязкость - на 20...25% по сравнению с заготовками той же плотности, полученными на ГС-установках. Повышение других свойств как микротвердости, микронапряжений, плотности дислокаций дает возможность активации последующего спекания заготовок и в ряде случаев снизить температуру спекания.

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволили успешно применить установки гидродинамического прессования для промышленного использования. Так, по схеме (рис. 4.8 а) было проведено прессование вкладышей многоместной пресс-формы (матрица пробки грелки), которую невозможно получить традиционными методами порошковой металлургии. При общей относительной плотности 85% перепад плотности по сечению полученной заготовки не превышал 3%.

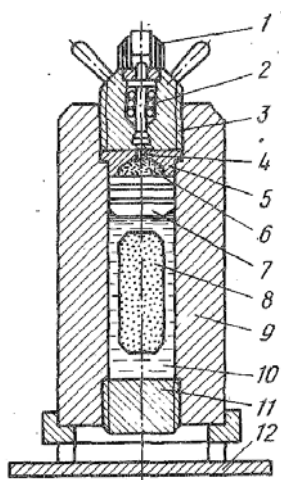


Рис. 4.7 Схема гидродинамической машины ГДМ-160:

1 – электромагнит; 2 – ударный механизм; 3 – затвор; 4 – капсуль-воспламенитель; 5 – гильза; 6 – пороховой заряд; 7 – поршень; 8 – корпус; 9 – прессуемый порошок в

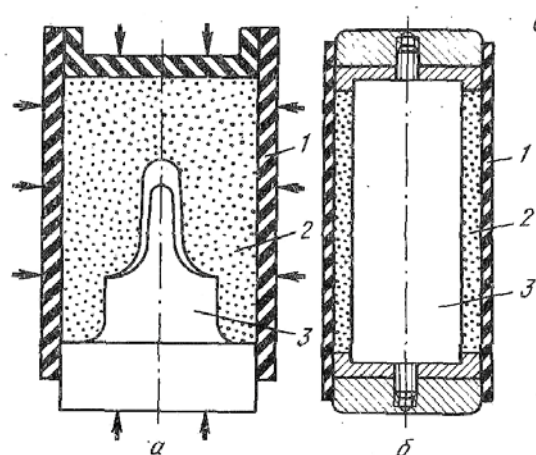


Рис. 4.8 Схема гидродинамического прессования деталей сложной формы: а – пресс-формы; б – фильтрующий элемент; 1 – резиновая оболочка; 2 – порошок; 3 – оправка

эластичной оболочке; 10 – камера высокого давления; 11 – пробка; 12 – массивное стальное основание

Гидродинамическим методом из электролизного порошка титана были изготовлены по схеме, приведенной на рис. 4.8 б, фильтрующие элементы высотой 400 мм, наружным диаметром 120 мм и толщиной стенки 10 мм. Для их изготовления применяли заряд пороха массой 60 г, что обеспечило давление 250 МПа. Применение гидродинамического взрывного прессования фильтров по сравнению с существующими способами их изготовления позволило получить фильтрующие элементы с большим отношением длины к диаметру, обеспечило равномерное распределение плотности по длине фильтра и более высокую производительность.

4.2.1.3 Прессование порошков взрывом ВВ. Давления, развиваемые продуктами сгорания порохов, часто бывают недостаточными для прессования малопластичных металлических порошков. В этом случае более перспективным является применение ВВ.

Для прессования порошков используют прессы одно- и двухстороннего действия. Устройство прессы одностороннего действия весьма просто (рис. 4,9 а), пресс двустороннего действия (рис. 4.9 б), кроме матриц 6 и пуансона 7, снабжен нажимными плитами 4 и центрирующими заряды 8 плитами 3. Одновременность инициирования обеспечивается двумя электродетонаторами или равными отрезками детонирующего шнура 2, инициирующимися от одного детонатора 1.

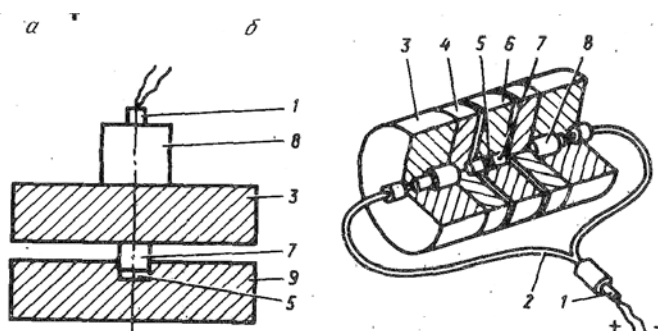


Рис. 4.9 Схема взрывного прессы для одностороннего (а) и двустороннего (б) прессования:

1 – детонатор; 2 – отрезок детонирующего шнура; 3 – центрирующие плиты; 4 – нажимные плиты; 5 – прессуемый порошок; 6 – матрицы; 7 – пуансон; 8 – заряд ВВ; 9 – нижняя плата

4.2.2 Схемы получения плоских заготовок из прессованного взрывом некомпактного материала

Схемы прессования взрывом плоских заготовок в виде листов, полос, из некомпактных материалов приведены на рис. 4.10. Прессуемый материал (металлические порошки или губка) засыпают в контейнер из тонколистовой высокоуглеродистой стали. Борта контейнера могут быть изготовлены из 0,5...2 мм стали; толщины верхней и нижней пластин контейнера зависят, в основном, от размера частиц прессуемого материала (для порошков применимы пластины толщиной 1...3 мм).

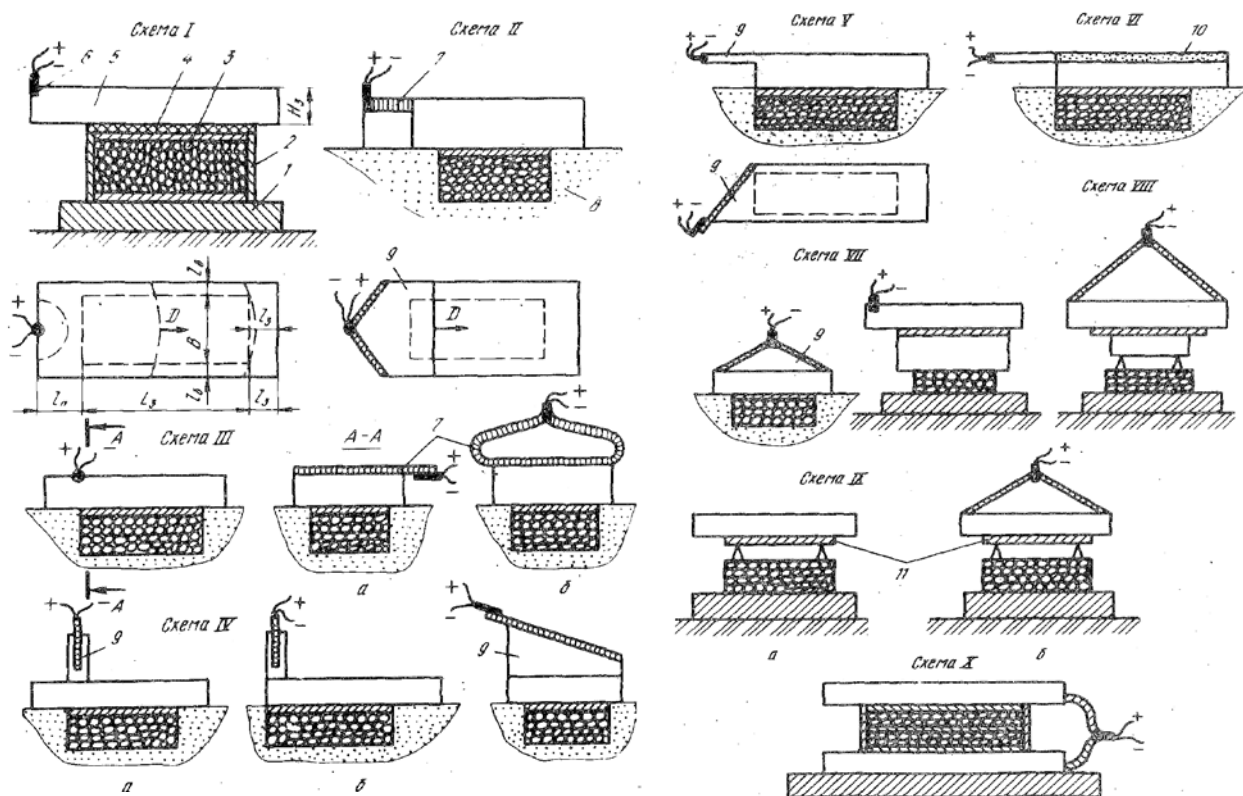


Рис. 4.10 Схемы взрывного прессования плоских заготовок:
 1 – основание; 2 – контейнер; 3 – прессуемый материал; 4 – защитный слой;
 5 – заряд ВВ; 6 – детонатор; 7 – детонирующий шнур; 8 – песок; 9 – генератор плоской волны; 10 – ВВ с высокой скоростью детонации; 11 – метаемая пластина

При прессовании по схеме 1 (см. рис. 4.10) в поперечном сечении может возникнуть трещина в форме расширяющейся кверху трапеции. На

верхней поверхности могут возникнуть продольные трещины, концентрирующиеся, в основном, вблизи боковых граней. На нижней поверхности трещины обычно отсутствуют или являются результатом развития трещины с верхней поверхности. С целью создания лучшего оформления граней заготовки, а также устранения массивного основания для прессования заготовок применяют схему II с использованием плоской волны.

У заготовок, полученных по схеме II, верхние слои прессуемого материала могут смещаться по направлению бегущей волны; в результате продольное сечение заготовок приобретает форму параллелограмма.

Схема III а позволяет значительно уменьшить сдвиг верхних слоев заготовки относительно нижних и устранить деформирование переднего торца заготовки от действия набегающей ударной волны. Отличительной особенностью данной схемы служит расположение ВВ с более высокой скоростью детонации, чем ВВ основного заряда, в одной вертикальной плоскости с передним торцом заготовки. Однако одностороннее инициирование плоского заряда может развернуть фронт детонации, что приведет к искажению планшетности и появлению трещин.

Возбуждение заряда по схеме III б устраняет недостатки одностороннего инициирования предыдущей схемы. Однако в результате образования сходящейся волны детонации наблюдаются: локальное повышение давления вдоль продольной оси заготовки, наибольшее уплотнение заготовки в этом сечении и большая склонность проявления трещин по середине заготовки. Применение более толстой верхней пластины контейнера способствует получению качественной поверхности заготовки и устранению продольных трещин.

Для одновременного инициирования плоского заряда по всей его ширине разработана схема IV а, в которой применен вертикальный генератор-плоской детонационной волны. В схеме IV б генератор плоской волны расположен в одной вертикальной плоскости с передним торцом заготовки. Это способствует ликвидации относительного смещения слоев

заготовки и получению заготовок правильной формы. Однако изготовление и установка вертикального генератора плоской волны несколько усложняет технологию взрывного прессования.

Более проста схема инициирования плоских зарядов ВВ с помощью горизонтального генератора плоской волны по схеме У. При этом следует заметить, что передний торец заряда для устранения сдвиговых эффектов заготовки находится в одной плоскости с передним торцом заготовки.

Для регулирования угла падения ударной волны на заготовку применяют схему конструирования плоского заряда по схеме VI, где на верхнюю поверхность заряда укладывают ВВ с более высокой скоростью детонации, чем у ВВ основного заряда.

Схема VII с использованием генератора плоской волны дает возможность получить нормальное к поверхности заготовки падение ударного фронта и исключить сдвиговые эффекты, проявляющиеся при использовании бегущей ударной волны. Указанную схему часто применяют в лабораторных исследованиях.

Схема VIII прессования позволяет получать заготовки с более равномерным распределением плотности по их высоте, что объясняется наличием дополнительных, отраженных от основания, ударных волн, подпрессовывающих заготовку с нижней поверхности.

Прессование взрывом по схеме IX, осуществляемое метанием пластины, особенно удобно при проведении экспериментов по изучению особенностей импульсной обработки. Изменением толщины метаемой пластины, исходного расстояния пластины до контейнера, применением ВВ с разной скоростью детонации можно получать разные силовые и температурно-скоростные режимы процесса в широком диапазоне их изменения.

В некоторых случаях целесообразно для более равномерного распределения свойств металла по высоте заготовки применять двухстороннее прессование (схема X), когда заряды ВВ расположены по обе

стороны контейнера с прессуемым материалом. При этом необходимо одновременно инициировать оба заряда. Однако исследования показали, что в месте встречи ударных волн от зарядов резко повышается давление, что способствует разрушению заготовки в этом сечении. Для устранения подобных нежелательных эффектов контейнер разделяют на две одинаковые полости металлической диафрагмой. Диафрагма является местом встречи ударных волн от зарядов и предотвращает разрушение заготовки.

4.2.3 Схемы получения цилиндрических заготовок из прессованного взрывом некомпактного материала

При обработке взрывом цилиндрических заготовок (рис. 4.11) и порошковых цилиндрических изделий стремятся создавать такую конструкцию заряда, чтобы на изделие действовала осесимметричная нагрузка.

Для прессования цилиндрических сплошных изделий контактным зарядом (см. рис. 4.12 а) прессуемый материал 5 помещают в контейнер 4, в качестве которого могут быть использованы трубы со стенками разных толщин из черных и цветных металлов или других материалов (картона и т.п.). Заряд 2 располагается концентрично вокруг заготовки и инициируется детонатором из точки, лежащей на оси изделия. Защитное устройство 3 препятствует проникновению продуктов взрыва в прессуемый материал.

Во избежание раздутия заготовки трубы в нижней ее части от действия отраженных от основания ударных волн контейнер с прессуемым материалом устанавливают на подставку.

В некоторых случаях при использовании тонкостенных контейнеров для плавного приложения импульса давления и более равномерного его

распределения по длине обжимают заготовку через передающую среду (см. рис. 4.12 б) – воду, резину, пластмассу, линолеум и другой материал.

Результаты работ по прессованию цилиндрических изделий показали, что весьма трудно получить заготовку без внутренней осевой полости или с равномерной полостью по сечению. В зависимости от насыпной массы или степени предварительной подпрессовки, физико-механических свойств порошка, размеров заготовки, свойств применяемых ВВ и размеров заряда в заготовке могут образоваться зоны повышенной или пониженной плотности.

Изделия трубчатой формы прессуют, используя наружный цилиндрический заряд ВВ (рис. 4.13 а).

В середину заготовки помещают сердечник в виде трубчатых заготовок или сплошной металлический цилиндр, или трубку, заполненную какой-либо средой (воздухом, песком, водой и др.). Исследования показали, что менее всего в сравнении со сплошным сердечником обжимается трубка с водой.

Схему взрывного прессования полых изделий наружным зарядом можно использовать и с применением между обжимаемой заготовкой и зарядом какой-либо передающей среды.

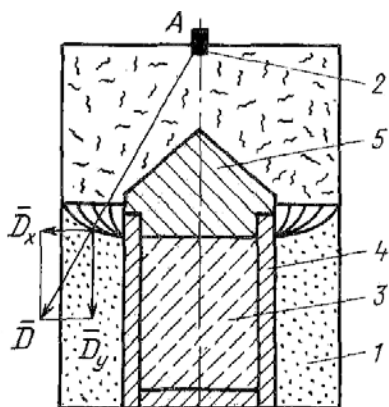


Рис. 4.11 Схема деформации взрывом цилиндрической заготовки с инициированием заряда ВВ в точке

А на его оси:

1 – заряд ВВ; 2 – детонатор; 3 – прессуемый материал; 4 – ампула

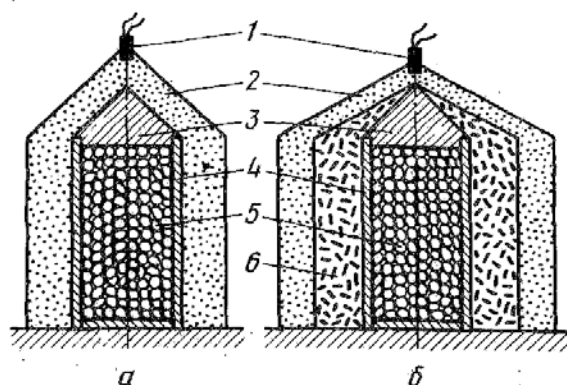


Рис. 4.12 Схема взрывного прессования порошковых цилиндрических изделий контактными зарядами ВВ (а) и через передаточную среду (б):

1 – детонатор; 2 – заряд ВВ; 3 –

(труба);
5 – защитное устройство (конус)

защитное устройство; 4 – контейнер;
5 – прессуемый материал; 6 –
передающая среда

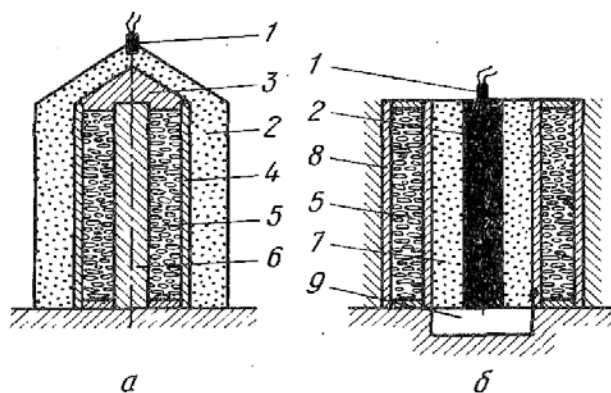


Рис. 4.13 Схема прессования трубчатых заготовок наружным (а) и внутренним (б) зарядами:

1 – детонатор; 2 – заряд ВВ; 3 – защитное устройство; 4 – контейнер;
5 – прессуемый материал; 6 – сердечник; 7 – передающая среда; 8 –
разъемная матрица; 9 – полость для продуктов взрыва

В некоторых случаях, например, для заготовок с малым отношением высоты к диаметру, применяют схему прессования с расположением заряда по оси изделия (рис. 4.13 б). В этом случае давление продуктов взрыва заряда передается прессуемому материалу через промежуточную среду, в качестве которой наиболее часто применяют воду или песок. Контейнер может быть не только из металла, но и из любого эластичного материала, например, резины. Извлечение уплотненной трубчатой заготовки облегчается применением разъемной матрицы. Боковой подпор матрицы осуществляется применением разных устройств, например, массивных колец, скрепляемых стяжными болтами.

Процессы прессования с последующей прокаткой и волочением цилиндрических заготовок из спрессованной взрывом титановой губки для получения прутков, труб и проволоки всесторонне изучены. По разработанной технологии была получена партия цилиндрических заготовок из титановой губки ТГ-120 с химическим составом, %: С1 – 0,05; Fe – 0,07; N₂ – 0,014; С – 0,02; Si – 0,004.

Деформированный металл характеризовался значительной текстурой - зерна вытянуты в направлении прессования. На периферийных участках образовался мелкозернистый газонасыщенный слой с микротвердостью 3,2...3,9 ГПа, а на внутренних участках – 2,0...2,2 ГПа. После снятия газонасыщенного слоя механической обработкой и отжигом при 720⁰С в течение 1 ч с охлаждением на воздухе из заготовок вырезали образцы для испытаний на растяжение. Оказалось, что титан, полученный горячим прессованием компактированной взрывом заготовки, по своим механическим свойствам близок к техническому титану, полученному электродуговой плавкой титановой губки и подвергнутому обработке давлением.

Полученные из заготовок титановые прутки подвергали холодной прокатке в системе калибров круг - овал - круг. Прокаткой с двумя промежуточными отжигами получили прутки диаметром 8 мм. После окончательного отжига и травления прутков в растворе серной и плавиковой кислот проведено многократное холодное волочение прутков с суммарной деформацией после каждого цикла волочения 50...70%. После каждых пяти - восьми проходов осуществляли травление проволоки и 2-х минутный отжиг при 650...900⁰С. Проведенные испытания проволоки на разрыв показали, что, например, для отожженной проволоки диаметром 0,72...1,27 мм прочность на разрыв составляет 600...650 МПа, что хорошо согласуется с данными по механическим свойствам проволоки из титана ВТ1-1.

Было исследовано также электросопротивление полученной проволоки на установке постоянного тока МО-62. Измерение проводили на образцах проволоки с базой 1000 мм, точностью до 0,001 Ом·мм²/м. Величина удельного электросопротивления находилась в пределах 0,398...0,574 Ом·мм²/м и по 100 измерениям средняя величина удельного электросопротивления составила 0,488 Ом·мм²/м. Технический титан имеет удельное электросопротивление в пределах 0,42...0,78 Ом·мм²/м.

Проведенное исследование показало, что деформированный титан, полученный из спрессованной взрывом некомпактной заготовки, обладает достаточно высокими механическими и технологическими свойствами.

4.3 Сварка взрывом

В истории военной техники нетрудно найти описания случаев, когда пули и снаряды соединялись с поражаемыми металлическими телами; природа таких соединений расценивалась как чисто механическая: считалось, что происходило просто заклинивание или защемление.

В 1946-1947 годах в г. Киеве академик М.А. Лаврентьев вместе с группой своих сотрудников занимался исследованиями эффекта кумуляции – значительного усиления действия снаряда, когда на срезе (обращенном к преграде) взрывчатки сделана выемка; это действие особенно усиливается, если она облицована слоем металла. В ходе работ исследователи получили биметаллические образцы с весьма характерными для сварки взрывом волнами на поверхности контакта соударяющихся тел. Один из участников этих работ (Н.М. Сытый) проводил и другие эксперименты: обматывал пучки из медной проволоки детонирующим шнуром и подрывал заряд ВВ. В результате взрыва проволочки, как в опытах по исследованию кумуляции, тоже соединялись в монолитный стержень.

Все эти наблюдения в то время привели к разработке способа сварки с помощью взрывчатых веществ. Термином «сварка взрывом» принято называть явление прочного соединения двух или нескольких металлических тел, происходящее при их соударении за счет детонационной волны.

В арсенале техники насчитывается около десятка различных способов сварки, широко применяющихся в разных областях народного хозяйства. Зачем же понадобилось развивать и внедрять метод сварки, который для своего осуществления требует применения взрывчатых веществ?

Ответить на поставленный вопрос – это значит установить, чем же новый вид сварки отличается от других, ставших уже традиционными, а также выяснить, какие преимущества имеет он перед ними.

Используя энергию взрыва, удается соединить такие металлы, которые никакими другими способами не свариваются (например, сталь со свинцом).

Биметаллы на основе стали находят широкое применение в промышленности, однако получение их обычным способом крайне сложно (даже медь обладает очень низкой растворимостью в стали, что существенно усложняет получение сварного соединения сталь-медь). Для получения биметаллов сталь-алюминий и сталь-титан сварка взрывом является единственным способом (при традиционной сварке шов получается хрупким и непрочным).

Большое преимущество сварки взрывом заключается также в возможности получения практически неограниченного набора сваренных металлов (многометалл). В этом случае к биметаллу приваривается третий слой, к триметаллу – четвертый и т.д.

Сварка взрывом – единственный технологический процесс, позволяющий получать прочное сварное соединение металлов по всей поверхности контакта. На некоторых машиностроительных комбинатах используются биметаллические плиты площадью в несколько квадратных метров, полученные сваркой взрывом.

Этим методом можно получать и так называемые профилированные соединения по поверхности (приваривать определенные участки поверхности пластины к определенным участкам другой пластины). Для этого на участки, не предназначенные для сварки, наносятся определенным образом подобранные покрытия, способные поглощать струю металла.

Но самая важная особенность взрывной сварки состоит в том, что ей доступно соединение очень больших поверхностей – во много квадратных метров. А это сразу выдвинуло сварку взрывом в число потенциально

наиболее перспективных способов получения биметаллических листов и труб, плакирования крупногабаритных изделий.

Надо отметить еще одну существенную особенность сварки взрывом. Если вести нужным образом процесс, то, как правило, в сварочном шве не образуются интерметаллические соединения, которые нарушают целостность шва, структуру металла. Поэтому прочность соединения получается столь высокой, что она всегда превосходит прочность наиболее слабого компонента свариваемой пары.

Энергией взрыва можно сваривать одновременно до нескольких десятков металлических слоев, подбирая для этого заряды соответствующей величины.

Наконец, следует учитывать, что процесс сварки взрывом осуществляется за тысячные и даже миллионные доли секунды. И в большинстве случаев он не требует применения сложного оборудования. Это очень существенная особенность, открывающая перспективу использования взрывной сварки не только для изготовления уникальных изделий, но и в массовом производстве.

Приведем еще один пример, иллюстрирующий широкие возможности взрывной технологии.

Значительный успех достигнут, в частности, в разработке технологии сварки кабелей связи взрывом. Этот процесс производят непосредственно на том месте, где возникла необходимость, скажем, в поле. Все нужное для такой операции находится в специальной сумке сварщика. На концы двух сращиваемых кабелей надевается алюминиевая муфта и специальной формы заряд ВВ. Сварщик уходит на безопасное расстояние и с помощью взрывной машинки вызывает детонацию ВВ, в результате чего и происходит сварка. Этот метод очень эффективен, так как позволяет заменить весьма трудоемкий и малонадежный процесс пайки. Для организации внедрения этого способа было подготовлено свыше трехсот сварщиков-взрывников, что

позволило применить новый способ при прокладке около 3 тысяч километров кабелей связи.

4.3.1 Общая характеристика технологии и физики процесса сварки металлов взрывом

Сварку взрывом производят следующим образом. На поверхность одной из деталей свариваемой пары (плоский лист, труба, кольцо или изделие другой формы) кладут взрывчатое вещество. Эту деталь располагают так, что при взрыве она летит на неподвижную деталь под углом $5...20^{\circ}$; скорость метания оказывается порядка нескольких сот метров в секунду. Благодаря высоким давлениям и температурам в области соударения и большой пластической деформации происходит активное самоочищение поверхностей, их сближение и прочное соединение.

Установлено, что дозвуковое течение в области контакта и есть необходимое условие соединения. Оно заведомо выполняется, если скорость движения области контакта, которая при параллельном исходном расположении деталей равна скорости детонации ВВ, меньше скорости звука в металлах. Например, скорость звука в стали немного более 5 километров в секунду, а в свинце она значительно ниже, поэтому, чтобы получить качественное сварное соединение стали со свинцом, надо брать взрывчатку, для которой скорость детонации будет меньше скорости звука в свинце.

Конечно, имеется и ряд других параметров процесса сварки, изменяя которые можно добиваться высокого качества соединения в зависимости от того, какие металлы свариваются, каковы размеры и конфигурация соединяемых деталей и т.д. К таким параметрам относятся: количество ВВ, его размещение на метаемой детали, угол ее наклона.

Сварку металла взрывом осуществляют либо при непосредственном контакте ВВ и металла (контактный метод), либо передачей энергии взрыва заготовке через промежуточную среду – воздух, воду, масло и др. (дистанционный метод).

Контактными методами осуществляют сварку массивных деталей, а сварку и плакирование взрывом металлической фольги и небольших металлических листов осуществляют дистанционным методом. Принципиальная схема сварки взрывом контактным методом приведена на рис. 4.14.

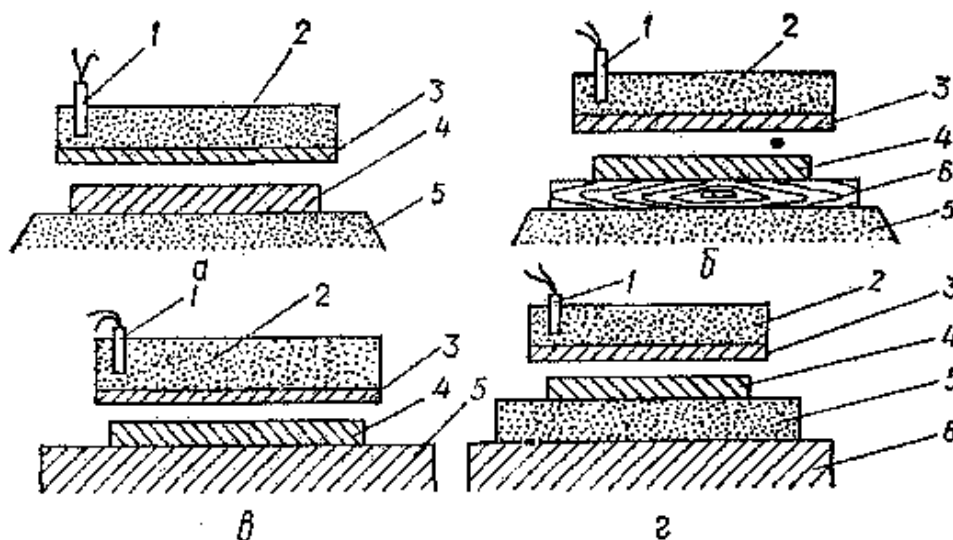


Рис. 4.14 Принципиальная схема сварки металлов взрывом контактным методом при различных видах оснований:

- а:** 1 – электродетонатор; 2 – ВВ; 3 – метаемый элемент; 4 – неподвижный элемент; 5 – песок;
- б:** 1–5 – то же, что и на а; 6 – доска;
- в:** 1–4 – то же, что и на а; 5 – металлическое основание;
- г:** 1–5 – то же, что и на а; 6 – металлическое основание

Физически процесс сварки металлов взрывом существенно отличается от своего статического аналога. Импульсное нагружение характеризуется практически мгновенным возрастанием нагрузки до очень большого значения, непосредственно за которым следует ее быстрое уменьшение. Механические и другие свойства образца существенно различны в разных его сечениях. Прочное соединение при сварке взрывом образуется в процессе протекания таких явлений как тепловые эффекты, пластическая деформация свариваемых металлов, образование струи из частиц металлов в точке соударения, перемешивание образцов вдоль контактной границы и другие. Однако время существования этих процессов очень мало. Рекристаллизация в зоне соединения невозможно.

Описанное выше явление (образование сварного соединения за счет перемешивания расплавов, а не за счет термохимических реакций, как в статических условиях) объясняет уникальные возможности сварки взрывом.

Для успешного проведения сварки взрывом надо в каждом конкретном случае решить: какую взять взрывчатку и какое количество, какие размеры и форму должен иметь заряд. Если свариваются плоские поверхности, например, металлические листы, то тогда ВВ подбирается с учетом критерия, о котором уже говорилось: скорость движения области соударения должна быть дозвуковой. А что касается массы заряда на единицу поверхности, то эта задача решается исходя из массы той пластины, которую надо метнуть, чтобы приварить ее к основанию. Для этого имеются экспериментально установленные зависимости, позволяющие определить сколько надо взять ВВ. Зачастую, согласно этим расчетам, получается, что масса заряда должна быть совсем небольшой, например, в тех случаях, когда хотят сделать покрытие из фольги. Но оказывается, что в очень тонком слое ВВ не детонирует - существуют критические значения размеров заряда. И поэтому приходится наносить на метаемую деталь значительно более толстый слой ВВ, иначе оно не взорвется.

Ниже приведены параметры заряда ВВ при сварке контактным методом.

Высоту заряда ВВ определяют по формуле:

$$l_{\text{зад}} = d_{\text{ед}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \text{ м}, \quad (4.5)$$

где $d_{\text{кр}}$ – критический диаметр заряда, м;

k_1 – коэффициент, учитывающий толщину метаемого элемента
($k_1 = 1 \dots 1,8$);

k_2 – коэффициент, учитывающий соотношение масс метаемого и неподвижного элементов ($k_2 = 1 \dots 1,2$);

k_3 – коэффициент, учитывающий пластичность соединяемых металлов
(k_3 равен 1 для сталей марки Ст. 3 и ОХ18Н10Т и 0,85 для стали марки Ст. 3 и меди марки М1).

Массу заряда ВВ находят из выражения:

$$Q = l_{\text{зад}} \Delta_{\text{ВВ}} S_n, \text{ кг}, \quad (4.6)$$

где $\Delta_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ, кг/м³;

S_n – площадь плоского заряда, м², определяемая по формуле

$S_n = b_n (l_n + 0,145b_n)$, где b_n и l_n – соответственно ширина и длина метаемой пластины, м.

4.3.2 Особенности технологии сварки труб взрывом

Перспективной областью применения сварки взрывом является сварка труб. Конечно, в обычных условиях традиционные способы сварки предпочтительнее, но в отдаленных труднодоступных регионах, куда весьма проблематично доставить и где сложно разместить сварочное оборудование, сварка взрывом может быть единственным способом прокладки и ремонта трубопроводов.

Сварка взрывом труб подразумевает некоторые конструктивные особенности.

4.3.2.1 Трубы одинакового диаметра. Торцы труб плотно соединяются. Над местом соединения устанавливается цилиндрический или конический кольцевой слой из металла, на внешней поверхности которого размещается заряд ВВ. После подрыва заряда ВВ кольцевой слой разгоняется, соударяется с поверхностями обеих труб возле зоны стыка и приваривается к ним. Следует отметить, что под воздействием высоких импульсных давлений участки труб под кольцевым слоем начинают движение к центральной оси. Для исключения этого отрицательного в данном случае эффекта разработан метод удержания участков труб под кольцевым слоем во время импульсного воздействия высоких давлений. С этой целью в трубы под участки вероятного движения закачивается вода (мешок из тонкого полиэтилена, заполненный водой и плотно прилегающий к внутренней поверхности труб). Используется принцип несжимаемости жидкости в радиальном направлении. Вода препятствует движению участков труб к центру. За времена в несколько

микросекунд осуществляется сварное соединение. Осевой импульс высокого давления (в более поздние моменты времени) разрывает мешок, вода вытекает из труб, а зона сварки взрывом сохраняет исходный диаметр (отсутствует радиальное сжатие).

4.3.2.2 Трубы разного диаметра. Труба меньшего диаметра вводится в трубу большего диаметра, причем соосно (выдерживается равное расстояние между поверхностями труб). На поверхности большей трубы накладывается кольцевой заряд ВВ, в котором детонация инициируется одновременно по кольцу. Вода заполняет участок меньшей трубы под местом сварки. Часть поверхности большей трубы разгоняется под воздействием взрыва заряда ВВ. Расстояние между поверхностями труб должно составлять не более 20...30 мм. В противном случае возможно разрушение (частичный разрыв) трубы большего диаметра.

Естественным продолжением работ по сварке взрывом труб (выпуклые поверхности) стали работы по сварке взрывом вогнутых поверхностей. Для реализации этого способа заряд ВВ, разгоняющий привариваемую пластину, изготавливается разнотолщинным. Пластина подлетает к зоне сварки изогнутой определенным образом, чтобы исключить отрицательные углы соударения. Реализуется сварка взрывом по вогнутой поверхности.

4.3.3 Дефекты сварки металлов взрывом и меры по их предупреждению

Знание причин возникновения дефектов при деформации металлов взрывом дает возможность управлять этим процессом и получать качественные изделия с заданными структурой и физико-механическими свойствами. Возникающие при сварке взрывом дефекты (деформации металлов взрывом) объединены в соответствующие группы.

Разработанная классификация предусматривает пять групп основных дефектов и каждая группа состоит из подгрупп, объединяющих дефекты по расположению и причинам их возникновения.

4.3.3.1 Непровары (дефекты сплошности). Краевые непровары образуются вследствие бокового разлета продуктов взрыва, приводящего к уменьшению импульса давления к периферийным участкам плоского заряда. Они образуются в виде полосы вдоль кромок заготовки или Г-образной формы на углах.

Исследование образования краевых непроваров под действием деформации кромок проводили на заготовках с основой 2000x1000x100 мм и толщиной метаемой пластины 15 мм. Было установлено следующее. Применение больших нависаний плакирующего листа в сочетании с ложными нависаниями заряда ВВ существенно снижает непровары на концах заготовок со 100...200 до 10...20 мм, однако не предотвращает их полностью.

Причину непроваров при плакировании толстым листом связывают с так называемым явлением «хлопанья» у краев плакируемых заготовок, для уменьшения которого рекомендуют проводить сварку при минимальных зазорах. Опытным путем было также установлено влияние сварочного зазора (изменялся от 2 до 30 мм) на размер пятна непровара при сварке листов из стали 08X18H10T толщиной 3 мм с листом из стали Ст. 3 толщиной 30 мм. В этом случае оптимальный зазор в точке инициирования равнялся толщине метаемой пластины.

Непровары, связанные с нарушением режима сварки, появляются при исчезновении сварочного зазора, загрязнении контактных поверхностей, нарушениях однородности состава смесового заряда ВВ, искривлениях фронта детонации.

4.3.3.2 Пониженная прочность. Участки пониженной прочности на контактных поверхностях свариваемых металлов имеют неокисленные светлые поверхности со следами от разрушенных «мостиков» схватывания, что происходит по менее прочному металлу. Наличие указанных мостиков снижает прочность соединения и для устранения этого дефекта, например, в

соединении сталь - сталь применяют продолжительную высокотемпературную обработку.

4.3.3.3 Деформация изделия. Остаточные деформации изгиба (о.д.и.) зависят от многих технологических параметров процесса: скорости метания, свариваемого материала, размера заготовок, типа опоры и др.

Было установлено на образцах размером 400x250x30 мм снижение остаточных деформаций изгиба в 4 раза при уменьшении скорости метания в 2 раза.

При увеличении жесткости опоры о.д.и. уменьшаются и увеличиваются на 20...25% при инициировании взрыва из центра заряда по сравнению с инициированием его плоским фронтом. Так, при плакировании листов на опоре из дроби о.д.и. уменьшается в 2...2,5 раза; при инициировании из центра заряда о.д.и. увеличивается в среднем на 25%; при плакировании на скальном грунте через слой песка прогиб листов уменьшается на 20%, по сравнению с плакированием на слое песка, уложенном на мягкий грунт.

Растяжение при деформации взрывом изучали путем измерения длины образцов в зависимости от скорости детонации. Установлено неравномерное распределение остаточных деформаций по длине образца, зависящее от скорости детонации ВВ. Если в средней части образца деформация составляла 1%, то в краевых частях в конце и начале заготовки удлинение равнялось соответственно 4 и 6%.

Краевая деформация наблюдалась в виде деформации узких граней с выдавливанием основного металла в краевых зонах заготовок, свариваемых взрывом.

Краевая деформация характеризуется интенсивным течением металла в направлении свободных поверхностей. Для снижения узких граней рекомендуют устранять течение металла основного слоя в сторону свободных поверхностей.

4.3.3.4 Повреждение плакирующего слоя. При сварке взрывом крупногабаритных композитов плакирующий лист вынуждены сваривать

встык из отдельных листов. При этом в сварном шве возникают дефекты в виде вырывов, трещин и свищей. Повреждение плакирующего слоя наблюдается, когда он имеет высокую пластичность (свинец, медь и др.) при воздействии бризантного заряда. Для предупреждения этого между зарядом и метаемой пластиной кладут картонную, резиновую и т.п. прокладку из инертного материала.

На плакирующем листе, если он имеет сварные швы с выпуклостями, при взрывном нагружении образуются кратерообразные вырывы. Причиной этого служит локальное изменение параметров процесса в связи с местным изменением толщины метаемой пластины. Удаление выпуклостей на сварном шве плакирующего листа исключает образование указанных вырывов.

Продольные трещины в области стыкового шва образуются по причине пониженной пластичности металла шва, термически упрочненного участка или же раскрытием небольших пор, трещин и др., возникающих в процессе дуговой сварки.

Трещины на поверхности плакирующего слоя при наличии соединения листов образуются в результате интенсивной пластической деформации и изменения в связи с этим механических свойств прочности, твердости, пластичности и т.п. Существенное влияние оказывают остаточные напряжения, имеющие высокий уровень в зонах, прилегающих к границе соединения. Нагрев основания, например, при сварке стали со сталью до 373К снижает остаточные напряжения на 150 МПа.

Свищи образуются в виде сквозного отверстия со следами оплавления. Опыты показали, что свищи появляются по причине нарушения процесса захлопывания воздуха в зазоре ограниченного объема и под большим давлением.

4.3.3.5 Микротрещины и разрушения. Задержанное разрушение в виде трещин, располагающихся нормально линии соединения, распространяются в плакирующий слой на глубину до $2/3$ его толщины. Особенность образования этих трещин состоит в том, что они возникают через некоторое

время после сварки составляющих (от 0,5 до 40 ч). Установлены три причины образования трещин этого вида: наличие мартенсита деформации, обладающего низким сопротивлением распространению трещин, зародышей трещин в виде дефектов в плавных участках и остаточных напряжений. Предупредить появление таких трещин можно незамедлительным снятием остаточных напряжений термической обработкой после сварки взрывом, а также уменьшением длины зоны сжатия воздуха, например, инициировать взрыв из центра заряда или же вакуумировать зазор.

Отколы появляются при сварке взрывом тогда, когда скорость детонации намного превышает скорость звука в деформируемом металле.

Причиной появления трещин в виде расслоений служит выход неметаллических включений в зону концентрации напряжений, например, отверстий, закруглений, галтелей и т.п. Трещины наблюдали при плакировании заготовок со сложным изменением контура.

Существенное влияние на образование трещин имеет материал опоры. Исследовали опоры из металлов, формовочного песка насыпной плотности, скального грунта и др.

Значительно меньшие разрушения установлены на образцах, сваренных на шлифованной металлической опоре. Минимальные разрушения имел образец, плакированный на опоре из металлической дроби.

Эксперименты показали, что причиной образования трещин и разрушений толстолистовых заготовок служат концентраторы напряжений в виде острых надрезов на боковых гранях, резких изменений профиля заготовок. Удаление концентраторов напряжений позволит избежать образования указанных дефектов. Этому может способствовать также подогрев заготовок и использование опор из металлической дроби.

4.4 Упрочнение металлов взрывом

По сравнению с классическими способами – термообработкой и пластической деформацией взрывное упрочнение металла обеспечивает:

большую глубину упрочненного слоя, простоту технологического процесса, дешевизну применяемого оборудования, большую производительность, возможность одновременного повышения нескольких механических характеристик. Кроме того, многие детали сложной формы имеют поверхности, которые трудно или невозможно упрочнять накаткой роликами или другими методами.

Так, например, в результате обработки поверхности конструктивных и инструментальных сталей газодинамическими потоками взрыва ВВ и частиц порошка, ускоренных энергией взрыва, происходит одновременное образование упрочненного поверхностного слоя стали толщиной 20...30 мкм и покрытия толщиной 30...40 мкм.

В настоящее время определена наиболее эффективная технологическая схема обработки стали взрывом. В частности, разработана технология изготовления из инструментальной стали вставок для шарошек и резцов горнодобывающих машин путем обработки их высокоскоростным потоком порошков карбида кремния.

Упрочнение взрывом с успехом применяется для деталей камнедробилок, гусеничных траков, сердечников стрелочных крестовин, зубьев ковшей экскаваторов. Упрочнение взрывом сварных швов тонкостенных оболочек из высокопрочных сплавов уменьшает внутренние напряжения в зоне шва в несколько раз.

4.5 Динамическое дробление металлических изделий

4.5.1 Дробление металлических конструкций

Взрывной способ дробления (перебивания) металлических изделий (массивов) применяют для разделки крупных металлических конструкций на более мелкие части, удобные для перемещения, и т.п.

Перебивание металла и металлических конструкций разрешается производить на особых площадках, в специально устроенных бронях или на полигонах, а также на месте их первоначального нахождения.

Взрывание осуществляют из специального углубленного в землю блиндажа, удаленного от места взрыва на 100 м и более.

Для перебивания металла и металлических конструкций применяют методы наружных и шпуровых зарядов. Эти работы целесообразно производить с применением ВВ, обладающих большой мощностью и повышенной плотностью.

Фасонные детали, составные рамы и конструкции, а также металлические листы и плиты толщиной до 150 мм взрывают наружными зарядами.

Массу наружных зарядов определяют по формуле:

$$Q = q_p \delta_{мет}^2 b_l, \quad (4.7)$$

где $\delta_{мет}$ – толщина металла, м;

b_l – ширина листа, м;

q_p – удельный расход ВВ (значение q_p для чугуна равно $5 \cdot 10^3$ кг/м³, для стали – $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³).

Расход аммонита бЖВ при перебивании металлических листов сведен в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Расход аммонита бЖВ при перебивании металлических листов наружными зарядами

Ширина листа, мм	Расход аммонита бЖВ, кг, на один лист при толщине листа, мм								
	5	10	15	20	25	30	35	40	50
200	0,2	0,4	0,6	0,8	1,25	1,8	2,4	3,2	5,0
300	0,3	0,6	0,9	1,2	1,9	2,7	3,6	4,8	7,5
400	0,4	0,8	1,2	1,6	2,5	3,6	4,9	6,4	10,0
500	0,5	1,0	1,5	2,0	3,1	4,5	6,1	8,0	12,5
600	0,6	1,2	1,8	2,4	3,7	5,4	7,3	9,6	15,0
700	0,7	1,4	2,1	2,8	4,4	6,3	8,5	11,2	17,5
800	0,8	1,6	2,4	3,2	5,0	7,2	9,8	12,8	20,0
1000	1,0	2,0	3,0	4,0	6,25	9,0	12,8	16,0	25,0

При перебивании конструкций толщиной более 150 мм применяют шпуровые заряды. Диаметр шпуров 35...42 мм, глубина – не более 2/3 (для стали не более 3/4) и не менее 1/2 толщины взрываемого металла. Расстояние между шпурами зависит от марки металла, обычно его принимают равным 1,0...1,5 глубины шпура, но не более 0,3...0,4 м. ВВ закладывают на 0,7 глубины шпура, а оставшуюся часть забивают сухим песком или глиной. Шпуры в металле прожигают кислородом или сверлят сверлами. Средний объем буровых работ при перебивании металлических конструкций равен 3,9 м/м³, а расход кислорода – 17,5 м³/м³.

Массу шпурового заряда определяют по формуле:

$$q_{\phi} = 0,55d_{\phi}^2 l_{\phi} \Delta_{AA}. \quad (4.8)$$

При взрывании полых деталей, отливок из бронзы и меди заряд помещают внутри их и всю полость заполняют влажной землей или песком, что обеспечивает равномерное дробление металла.

Конструкции коробчатой формы и большие резервуары дробят гидровзрывным способом: емкость заполняют водой до краев, в центре ее подвешивают на веревке заряд ВВ с заглублением на 2/3 толщии слоя воды и взрывают его. При этом способе на 1 т металла расходуется 2,3 кг аммонита 6ЖВ; 0,192 ЭД или КД; 0,192 м ОШ и 1,54 м ДШ.

Массу заряда для разрушения резервуаров определяют по формуле:

$$Q = q_{\text{мет}} V_{\text{мет}}, \quad (4.9)$$

где $V_{\text{мет}}$ – объем металла в разрушаемой конструкции, м³;

$q_{\text{мет}}$ – удельный расход ВВ, кг/м³.

Значение $q_{\text{мет}}$ зависит от природы металла:

Вид металла	$q_{\text{мет}}$, кг/м ³
Чугун:	
• серый	4,5...5,0
• белый	5,5...6,0
Сталь:	

• хрупкая каленая	6,7...7,5
• вязкая	8,0...9,0

Для разрушения долот, шарошек, переходников, оставленных у забоя скважины, применяют кумулятивные торпеды осевого действия.

При резке металлических листов толщиной более 200 мм массу заряда определяют по формуле:

$$Q = 10^4 hS, \text{ кг}, \quad (4.10)$$

где h – толщина листа, м;

S – площадь поверхности листа, м².

В случае резки нескольких листов (полос) за h принимают их общую толщину с учетом заклепок.

Массу кольцевого заряда для резки (перебивания) стержней круглого сечения определяют по формуле:

$$Q = 10^4 D_{cm}^3, \text{ кг}, \quad (4.11)$$

где D_{cm} – диаметр стержня, м.

Вычисленный по формуле заряд должен иметь высоту не менее 2,5 диаметра стержня.

При перебивании фасонных и составных конструкций массу заряда определяют для каждой составной части отдельно.

При разделке фасонных частей конструкций каждый заряд плотно прижимают к ним деревянной пластинкой и вместе с ней привязывают шпагатом к взрываемой части конструкции.

Заряд из порошкообразного ВВ должен быть помещен в оболочку из бумаги или материи и расположен по линии реза.

В качестве ВВ для разделки металла в воде рекомендуется применять шашки прессованного тротила или других мощных водоустойчивых ВВ.

Для резки корпуса судна и других конструкций из листовой стали вяжут фигурные заряды из шашек, располагаемых вдоль имеющихся швов (заклепок или сварных швов). Практически при толщине стали менее 40 мм

на 10 мм поперечного сечения реза расходуется 25 г тротила, при толщине стали более 40 мм – 50 г. При перебивании листов брони массу ВВ удваивают.

Стальные стержни, блоки, тросы и т.п. перебивают двумя смещенными зарядами, располагаемыми с двух сторон перебиваемого предмета. Массу каждого из зарядов принимают из расчета 50 г на 10 мм сечения при толщине до 40 мм и 100 г – при толщине более 40 мм. Взрывание зарядов мгновенное.

Якорные цепи перебивают одним зарядом, располагаемым на звене цепи.

Несколько наружных зарядов при перебивании фасонных конструкций взрывают мгновенно при помощи детонирующего шнура или электродетонаторов. Наружные заряды должны быть, по возможности, прикрыты со всех сторон слоем земли, песка или глины.

Для обрыва ствола обсадных труб в скважинах используют кумулятивные герметичные труборезы ТКГ, техническая характеристика которых приведена в табл. 4.5. Зазор между корпусом ТКГ и стенкой трубы должен составлять не более 7,5 мм.

Таблица 4.5

Техническая характеристика труборезов ТКГ

Показатель	Значения параметров для различных типов труборезов				
	ТКГ-45-500	ТКГ-55-500	ТКГ-85-500	ТКГ-110-500	ТКГ-135-500
Наружные диаметр, мм	45	55	85	110	135
Масса ВВ, кг	0,033	0,052	0,195	0,275	0,355
Максимально допустимая температура, °С	150	150	100	100	100
Условный диаметр перерезаемой трубы, мм	60	73	114	146	168
Перерезаемая труба	Насосно-компрессо	Насосно-компрессо	Обсадная	Обсадная	Обсадная

	рная	рная			
--	------	------	--	--	--

Примечание. Максимально допустимое гидростатическое давление труборезов 50 МПа.

4.5.2 Особенности дробления взрывом элементов из твердых сплавов

Одной из многочисленных прикладных задач дробления материалов является дробление отработавших деталей из твердых материалов с целью их дальнейшего использования.

В настоящее время мировое производство твердых сплавов (например, вольфрамокобальтовых - ВК) приближается к одному миллиону тонн в год, а годовой объем отходов из них достигает тысячи тонн. Повторное использование материалов на основе твердых сплавов и технических керамик, применяемых для специализированного производства инструментов, требует дробления и измельчения рабочих элементов (пластин, наконечников, фильер и т.д.). Эффективное измельчение отслуживших рабочих элементов в шаровых мельницах возможно в том случае, если начальный размер измельченных частиц меньше 1 мм. Это позволяет использовать имеющееся перерабатывающее оборудование для получения мелкого порошка размером частиц не менее 50 мкм. Необходимо отметить, что в шаровых мельницах и дробильных машинах твердость размольных поверхностей определяет допустимую твердость перерабатываемых материалов.

Высокотвердые материалы, как правило, отличаются хрупкостью, т.е. разрушение таких материалов происходит без заметных пластических деформаций с образованием свободных поверхностей.

Прочность основы высокотвердых материалов составляет примерно 1 ГПа. Уровень давления, необходимый для разрушения этих материалов, в макромасштабах достигается только при использовании ВВ, при детонации которых давление на фронте волны сжатия составляет 10...30 ГПа. Для защиты материала от прямого воздействия продуктов взрыва и с целью исключения разлета образовавшихся фрагментов применяется замкнутый

контейнер, причем для обеспечения целостности толщина его корпуса должна быть сравнимой с толщиной обрабатываемых деталей.

Создание и обработка металлических контейнеров, сохраняющихся после воздействия внешних взрывных нагрузок, не представляет значительных технических трудностей. Разрушение (дробление) материалов, заключенных в контейнер, происходит в процессе их ударно-волнового нагружения.

4.5.3 Основы техники безопасности при взрывах в бронее

Взрывания по металлу, особенно дробление (перебивание) металла и металлических конструкций, должно производиться в бронее.

Взрывания разрешается производить в бронее, сооруженных по специальному проекту, предусматривающему обеспечение безопасных условий труда, и принятых в эксплуатацию комиссией предприятия с участием представителей Госгорпромнадзора Украины.

Вокруг бронее должны быть установлены на расстоянии не менее 30 м ограждения (заборы), а на подъездных дорогах – шлагбаумы.

Каждая бронее должна иметь два обособленных выхода. Масса крышки для бронее и ее конструкция должны исключать возможность сдвига или разрушения ее при взрывах. Перед вводом бронее в эксплуатацию, а также после ремонта или замены хотя бы части броневых плит крышки или стен, бронее должна быть испытана на прочность троекратным взрыванием зарядов удвоенной (против массы максимально применяемого заряда) величины.

Сменный запас ВМ для производства работ в бронее разрешается хранить в зарядном помещении (будке), расположенном на огороженной территории бронее на расстоянии не менее 30 м от места взрыва. Дверь помещения (будки) должна быть оборудована прочными надежными запорами (не менее двух замков).

Предельное количество ВВ, взрываемого одновременно в бронях, устанавливается экспериментально.

ВВ и СИ должны храниться в отдельных изолированных комнатах (или секциях) зарядного помещения под наблюдением взрывника или вооруженной охраны.

При работах в бронях разрешается применение электрического освещения с напряжением не выше 12 В. Перед началом зарядки электрическое освещение должно быть убрано из ямы и дальнейшая работа должна производиться с применением рудничных аккумуляторных светильников.

Вес крышки для брони и ее конструкция должны исключать возможность сдвигания или разрушения крышки при взрывах. Перед вводом в эксплуатацию брони, а также после ремонта или замены хотя бы части броневых плит крышки или стен брони должна быть испытана на прочность путем трехкратного взрыва зарядов удвоенной величины.

Стены ямы и перекрытия предпочтительно устраивать из стальных плит толщиной 150...200 мм, но они могут быть также деревянными или бетонными.

Обычно деревянные стены ямы выполняют в виде двух срубов из бревен диаметром 150...200 мм. Пространство между срубами шириной не менее 0,7 м заполняют песком или землей. Стены обшивают с внутренней стороны броней из котельного железа толщиной 10 мм. Срубы перекрывают щитами из бревен диаметром 150...200 мм и обшивают снизу котельным железом толщиной 10 мм.

Броневая яма может освещаться наружными прожекторами, рудничными аккумуляторными или предохранительными бензиновыми лампами, а также электрическими лампами при напряжении не выше 12 В. Перед началом зарядки электрическое освещение должно быть убрано из ямы, а дальнейшая работа должна производиться с использованием других указанных выше источников освещения.

Яма должна быть оборудована вентилятором, помещаемым вместе с пусковым приспособлением в специальную пристройку возле ямы.

Загрузка и разгрузка бронеймы должны производиться только кранами.

Загрузку массивов в бронейму допускается производить только после охлаждения их до температуры ниже 80⁰С.

Массивы должны быть устойчиво установлены на дно бронеймы с вертикальной ориентировкой рукавов, при этом должен быть обеспечен свободный доступ для заряжания.

При выполнении погрузочно-разгрузочных работ запрещается присутствие людей в бронейме.

К месту производства взрывания должен быть обеспечен свободный подход для подноски ВМ и ухода взрывников в безопасное место.

Контроль за производством взрывания в бронеймах осуществляет мастер участка взрывных работ.

Перед началом производства взрываний зарядов ВВ руководитель взрывных работ (мастер) обязан проверить бронейму на пригодность к эксплуатации, включая:

- исправность звуковой и световой сигнализации;
- работоспособность систем вентиляции и откачки воды;
- исправность электроосвещения, в т.ч. аккумуляторных светильников;
- отсутствие трещин в броневых плитах крышки и стен, а также дефектов в их креплении;
- отсутствие зависших осколков металла;
- механизм движения крышки;
- исправность кранового оборудования (выполняемое крановщиком).

Производство взрываний зарядов ВВ в неисправной бронейме недопустимо.

При одновременном взрывании металлоконструкций несколькими зарядами взрывание может производиться только с применением ДШ. При взрывании одиночных зарядов допускается применение огневого взрывания.

После каждого взрывания броняема должна быть проветрена. Продолжительность проветривания определяется инструкцией по эксплуатации броняемы.

Запрещается осмотр места взрыва и производство работ в непроветренной от ядовитых газов броняеме.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные направления применения взрывной технологии по металлу.
2. Изложите суть способа листовой штамповки взрывом.
3. Перечислите технологические параметры штамповки металлов взрывом.
4. Перечислите способы прессования порошков.
5. Что такое «сварка взрывом»?
6. Изложите общую характеристику процесса сварки металлов взрывом.
7. Перечислите область применения сварки взрывом.
8. Каким образом выбирается величина заряда ВВ для сварки взрывом?
9. Каковы особенности технологии сварки труб взрывом?
10. Перечислите дефекты сварки металлов взрывом.
11. Для каких целей предназначено динамическое дробление металлических изделий?
12. Перечислите особенности дробления взрывом элементов из твердых сплавов.
13. Чем характеризуются взрывные технологии для упрочнения поверхности металлических изделий?
14. Изложите основы техники безопасности при взрываниях в броняеме.
15. В каких случаях запрещается производство работ в броняем

Глава 5

ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ И ДОБЫЧЕ НЕФТИ И ГАЗА

5.1 Применение взрывов при сейсморазведке

Незаменимы ВВ и при разведке земных недр. Разработка и использование быстрых, дешевых и надежных способов обнаружения полезных ископаемых в земной коре являются весьма актуальными задачами. Одним из самых эффективных геофизических методов разведки полезных ископаемых является сейсмический, основанный на закономерностях распространения в толще земной коры возбужденных взрывом упругих волн. С помощью сейсморазведки ведут работы по поиску месторождений нефти и газа, угля, металлических руд, изучают обширные геологические массивы, составляют прогноз землетрясений и т.д. Принцип сейсморазведки основан на различии упругих свойств горных пород, что приводит к изменению скорости распространения сейсмических волн. Например, в граните она составляет около 6 км/с, в каменной соли - 4 км/с, в воде и песке - всего 1,5 км/с. Встречая на своем пути поверхности, разделяющие породы, упругие волны отражаются от них, преломляются и частично возвращаются на поверхность Земли. Если на исследуемом участке расположить сейсмографы (специальные приборы, фиксирующие колебания почвы), то по времени прихода отраженных волн можно определить глубину и форму залегания различных горных пород.

С помощью сейсморазведки во всем мире открыто и разведано множество месторождений, в частности, нефтяных и газовых. Этот метод применяют также для изучения глубинного строения (мантии) Земли. Используя заряды ВВ массой в несколько сот килограммов и высокочувствительные датчики, можно получить сведения о свойствах горных пород, залегающих на глубине 150 км и более.

Для возбуждения сейсмических волн используют заряды ВВ массой от 0,2 до 100 кг, размещенные в скважинах глубиной от 1 до 100 м, а иногда и прямо на поверхности Земли.

В сейсморазведке различают два основных метода: метод отраженных волн (МОВ) и метод преломленных волн (МПВ).

При работе по методу отраженных волн расстояние между наиболее удаленным сейсмоприемником и пунктом взрыва выбирается не очень большое. Для непрерывного прослеживания сейсмических границ на непрерывном профиле располагают большое количество пунктов взрыва. Участок между ними называют взрывным интервалом, который зависит, главным образом, от заданной глубины разведки и составляет $(0,4 \dots 0,8)h_{o.g.}$ ($h_{o.g.}$ – глубина отражающего горизонта). Обычно длина взрывного интервала составляет 500...1500 м.

Метод преломленных волн основан на изучении упругих волн, преломившихся в геологическом пласте, в котором скорость распространения упругих колебаний больше, чем в вышележащих слоях. Упругая волна, падающая на такой пласт под углом, равным углу полного внутреннего отражения, образует в нем скользющую волну. В пласте возникают вторичные, так называемые преломленные волны, которые возвращаются к поверхности земли, где их можно регистрировать. При работе по методу преломленных волн наблюдения ведут на расстояниях от пункта взрыва, значительно больших глубины залегания самой глубокой из изучаемых преломляющих границ. На основе этого метода разработаны наиболее распространенные в сейсморазведке методы – КМПВ (корреляционный метод преломленных волн) и ГСЗ (глубинное сейсмозондирование).

5.1.1 Способы возбуждения сейсмических волн

Основной задачей взрыва при сейсморазведке является передача грунту энергии, достаточной для возбуждения колебаний нужной интенсивности.

Амплитуда колебаний, их частотный спектр и характер волнового поля существенно зависят от способа и условий взрывания заряда, а также от свойств окружающей заряд среды.

В практике сейсмической разведки применяются взрывы в скважинах, шурфах, в воздухе или на поверхности грунта, в водоемах.

5.1.1.1 Возбуждение сейсмических волн взрыванием скважинных зарядов ВВ. Взрывание скважинных зарядов ВВ – основной способ возбуждения упругих волн в сейсморазведке. В зависимости от условий применяют взрывание одиночных или групповых зарядов. Обычно заряды помещают в скважину под зону малых скоростей, несколько ниже уровня грунтовых вод.

При взрыве одиночного заряда в скважине его действие приравнивают к действию сферического, взрыв которого в однородной среде приводит к образованию только упругих волн.

Для получения воспроизводимых результатов в каждой скважине взрывают несколько зарядов последовательно, помещенных на том же участке скважины. Если скважина разрушается, рядом с ней бурят новую и производят взрывы на такой же глубине. В качестве забойки используют воду или глинистый раствор.

Масса зарядов, применяемых в сейсморазведке, изменяется в значительных пределах: от нескольких десятков граммов (при изучении верхней части разреза) до сотен килограммов (при глубинном зондировании). При использовании метода отраженных волн она равна 0,5...15 кг. Оптимальную массу заряда подбирают путем пробного взрывания. Наиболее целесообразно применять заряды, при взрыве которых соотношение амплитуд полезных волн и помех взрыва максимальное. Увеличение массы заряда сверх оптимальной приводит к изменению его формы. При необходимости увеличить массу заряда применяют групповые взрывы.

При групповом взрыве одновременно с небольшим интервалом взрывают несколько зарядов, расположенных на определенном расстоянии

друг от друга. Расстояние между зарядами (a) должно исключать возможность разрушающего взаимодействия зарядов и связанных с ним дополнительных потерь энергии. Значение параметра « a » зависит от массы заряда (табл. 5.1) и обычно равно диаметру зоны пластических деформаций от взрыва одиночного заряда.

Таблица 5.1

Масса зарядов и расстояния между ними при групповых взрывах

Q , кг	a , м	Q , кг	a , м	Q , кг	a , м
1	2	3	4	5	6
10	5,5...8	40	8,5...12	120	12...17
20	6,5...9,5	60	10...14,5	150	13...19
30	7,5...11	80	11...15,5	200	14,5...20,5

Применяют группирование продольное (ряд скважин располагают вдоль прямой, совпадающей с профилем наблюдений), поперечное, перпендикулярное к этому профилю, и площадное. По сравнительной массе отдельных зарядов, входящих в группу, различают однородные и неоднородные группы (последние применяют редко). Расстояние a между зарядами массой Q_1 и Q_2 определяют в этом случае по формуле:

$$a = 1,5(\sqrt[3]{Q_1} + \sqrt[3]{Q_2}). \quad (5.1)$$

При использовании зарядов большой суммарной массы оптимальную массу единичного заряда вычисляют по формуле:

$$Q_{\text{дв}} = \frac{\ddot{O}_{\text{н}}}{\ddot{O}_{\text{дв}}(1 - m_c)}, \quad (5.2)$$

где C_c – стоимость бурения скважины;

$C_{\text{ВВ}}$ – стоимость 1 кг ВВ;

m_c – коэффициент, учитывающий долю массы одиночного скважинного заряда, которая в сейсморазведке оказывает влияние на величину амплитуды продольной волны на достаточном удалении от

центра взрыва (в теоретических решениях $m_c = \frac{2}{3}$, эксперименталь-

но полученные его значения находятся в пределах $1 \dots \frac{1}{3}$).

Оптимальная масса единичного заряда в случае простоя определяется из выражения:

$$Q_{\dot{a}\dot{a}} = \frac{\ddot{O}_{\dot{n}} + t_{\dot{a}} \ddot{O}_{\dot{i}\dot{o}}}{\ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}} (1 - m_c)}, \quad (5.3)$$

где $t_{\dot{o}}$ – время бурения одной скважины;

C_{np} – стоимость 1 ч простоя на геофизических работах.

5.1.1.2 Возбуждение сейсмических волн взрыванием зарядов в шурфах.

При отсутствии бурового оборудования и в условиях, где близко к поверхности залегают влажные пески, вместо дорогостоящих скважин для размещения зарядов используют неглубокие шурфы (0,5...1,5 м).

Взрывание зарядов в шурфах применяют при изучении верхних частей разреза, в том числе зоны малых скоростей, а также при сейсмической разведке на больших глубинах методом преломленных волн. Наиболее целесообразно использовать шурфы для размещения зарядов при группировании взрывов.

При взрывании шурфовых зарядов вблизи свободной поверхности образуется воронка.

Массу единичного заряда в группе ($Q_{\text{ед}}$) принимают из условия обеспечения минимальных потерь энергии, связанных с выбросом продуктов взрыва в воздух. Экспериментально установлено, что удовлетворительное качество записи достигается при $(5 \dots 8) \geq \frac{Q_{\dot{a}\dot{a}}}{h_c^3} \geq 1$ (здесь h_c – глубина заложения заряда ВВ).

Расстояние между шурфовыми зарядами одинаковой массы определяют из выражения:

$$a = \frac{2\sqrt[3]{Q\sqrt{1+n^2}}}{\sqrt[3]{0,4(1+1,5n^3)}}, \quad (5.4)$$

где показатель выброса принимается равным:

$$n = \sqrt[3]{1,67Q/W^3 - 0,67}. \quad (5.5)$$

Оптимальное расстояние между зарядами различной массы вычисляют по формуле:

$$a' = \frac{\sqrt[3]{Q_1} \sqrt{1+n_1^2}}{\sqrt[3]{0,4(1+1,5n_1^3)}} + \frac{\sqrt[3]{Q_2} \sqrt{1+n_2^2}}{\sqrt[3]{0,4(1+1,5n_2^3)}}. \quad (5.6)$$

показатели действия взрыва n_1 и n_2 определяется по формуле (5.5) с подстановкой значений Q_1 и Q_2 и соответствующих им значений W_1 и W_2 (W - линия наименьшего сопротивления).

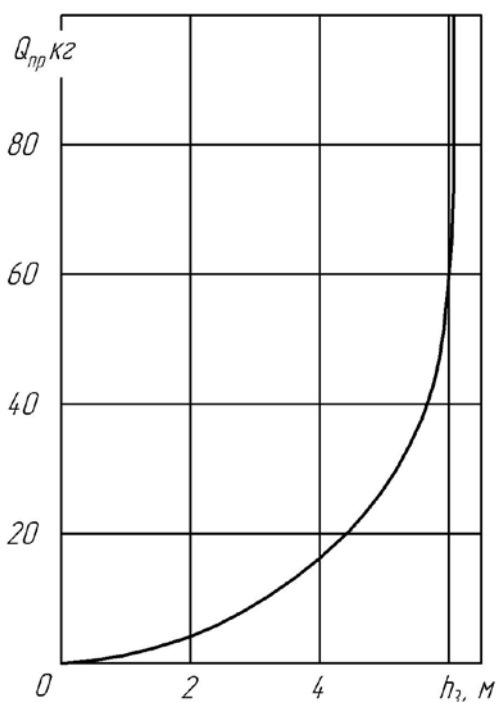


Рис. 5.1 Зависимость предельной массы заряда от глубины его погружения

5.1.1.3 Возбуждение сейсмических волн взрыванием в естественных водоемах.

При использовании корреляционного метода преломленных волн и метода

глубинного сейсмозондирования взрывание зарядов иногда осуществляют в естественных водоемах.

Результаты исследования при помощи взрывания зарядов на глубине 3...4 м отличаются высокой степенью достоверности.

В неглубоких водоемах заряды опускают на дно в местах с максимальной глубиной, в глубоких – подвешивают на заданной глубине и фиксируют при помощи специальных буйков для того, чтобы все взрывы производились в одной точке.

Максимальную массу заряда, взрываемого в водоемах Q , принимают равной (2...2,5) $Q_{пр}$ (здесь $Q_{пр}$ – предельная масса заряда) Значение $Q_{пр}$ находят по графику (рис. 5.1).

Если энергия взрыва заряда массой $Q_{пр}$ недостаточна для получения рабочей сейсмозаписи, прибегают к группированию зарядов.

Расстояние между зарядами в группе определяют по формуле:

Рис. 5.1 Зависимость предельной массы заряда от глубины его погружения

Максимальную массу заряда, взрываемого в водоемах Q , принимают равной (2...2,5) $Q_{пр}$ (здесь $Q_{пр}$ – предельная масса заряда) Значение $Q_{пр}$ находят по графику (рис. 5.1).

Если энергия взрыва заряда массой $Q_{пр}$ недостаточна для получения рабочей сейсмозаписи, прибегают к группированию зарядов.

Расстояние между зарядами в группе определяют по формуле:

$$a = \sqrt[3]{Q}. \quad (5.7)$$

Если глубина водоема в пределах расположения группы зарядов неодинакова, то массу каждого заряда выбирают с учетом глубины в точке его размещения.

Расстояние между зарядами неодинаковой массы определяют так, как при взрывании скважинных зарядов. При необходимости сократить это расстояние, его вычисляют по формуле:

$$a \leq (h_{\text{зад}}^I + h_{\text{зад}}^{II}) / 2, \quad (5.8)$$

где $h_{\text{зар}}^I, h_{\text{зар}}^{II}$ – глубина заложения соответственно первого и второго зарядов.

При взрывах в естественных водоемах вследствие пульсации газового пузыря часто возникают вторичные удары, искажающие получаемые результаты. Для предупреждения этого явления изменяют глубину погружения заряда постоянной массы или массу заряда при сохранении глубины.

5.1.1.4 Возбуждение сейсмических волн взрыванием в воздухе. В безводных и малоосвоенных районах в практике ведения сейсморазведки применяются воздушные взрывы, при которых регистрируется меньшее количество отражений, чем при взрывах в скважинах, что облегчает прослеживание основных (опорных) горизонтов. Кроме того, взрывание в воздухе не требует выполнения буровых или проходческих работ. В то же время этому методу присущ ряд недостатков. Взрывы в воздухе всегда сопровождаются сильными звуковыми и почти всегда – сильными поверхностными волнами. Интенсивность продольной волны, возбуждаемой такими взрывами, оказывается значительно меньше, чем при взрыве скважинного заряда такой же массы, вследствие затухания при прохождении через зону малых скоростей. Это приводит к необходимости увеличения массы воздушного заряда в 10...20 раз по сравнению с внутрискважинными. При воздушных взрывах наблюдается увеличение видимых периодов записи

полезных волн как следствие фильтрующего действия зоны малых скоростей вблизи очага, что ухудшает качество записи.

Наиболее широко применяется взрывание воздушных зарядов в методе преломленных волн при разведке небольших глубин (до 200 м). Наиболее перспективны групповые воздушные взрывы. Качество записи зависит от приведенной высоты подвеса заряда $\bar{h}_c = h_c / \sqrt[3]{Q}$. Согласно экспериментальным данным оптимальные значения этого параметра находятся в диапазоне $1,4 \text{ м} \leq \bar{h}_c \leq 1,8 \text{ м}$.

Часто применяют следующую схему воздушных взрывов: шесть зарядов массой 1...10 кг каждый размещают равномерно по окружности, седьмой – располагают в центре. При необходимости усиления импульса вокруг этой серии располагают еще 12 зарядов по окружности с удвоенным радиусом. Оптимальная высота подвеса таких зарядов 1,25...2,5 м. Заряды помещают на легких треногах с подвижным средним стержнем.

Амплитуда и частотный спектр возбуждаемых взрывом упругих колебаний однозначно определяются выделившейся энергией и практически не зависят от скорости детонации. Это позволяет использовать для сейсморазведочных работ сравнительно дешевые простейшие ВВ – игданиты, ифзаниты, горячельющиеся водонаполненные композиции.

5.1.1.5 Возбуждение сейсмических волн взрыванием линейно-распределенных зарядов. Одним из новых способов возбуждения упругих колебаний в горных породах является подрыв линий детонирующего шнура (ЛДШ), соединенных параллельно или последовательно. Этот способ применяется при сейсмической разведке методом отраженных волн, а также для возбуждения поперечных волн (направленных воздействий). Коэффициент искусственной направленности при взрывании ЛДШ в 1,3...1,5 раза больше, чем при трехрядных скважинных взрывах. Кроме того, взрывание ЛДШ позволяет получить поперечные волны в случаях, когда высокий уровень грунтовых вод исключает применение скважинных схем.

При монтаже линий, детонирующие шнуры (ДШ) укладывают в неглубокие борозды вдоль поверхности земли или растягивают их в воздухе. Оптимальная глубина заложения ЛДШ в талый грунт – 0,4...0,8 м при условии применения одной нити ДШ. Оптимальное расстояние между линиями – 1,0...1,2 м. При заложении шнура под снег толщина неутрамбованного снега должна быть не меньше 0,8 м. Большое влияние на качество сейсмосаписи оказывают укупорка линейного заряда в канавке и равномерная по глубине укладка.

Помимо значительного роста производительности, повышения безопасности взрывных работ и ликвидации сезонности в сейсморазведочных работах метод возбуждения колебаний взрывом ЛДШ позволяет осуществить разложение сложных волновых полей на составляющие, так как такие источники не генерируют волн-спутников и существенно ослабляют поле многократных суммарных волн, что имеет принципиальное значение при сейсморазведке сложнопостроенных структур.

5.1.2 Требования к производству взрывов при сейсморазведке

При групповых взрывах зарядание скважины должно производиться только после окончания ее бурения. Заряженные скважины должны находиться под наблюдением взрывной бригады; взрывпункт должен располагаться на расстоянии 20...25 м от скважины и находиться под постоянной охраной.

Перед взрывом заряда, заранее помещенного в скважину на болотистых участках, необходимо убедиться, что он не поднялся вверх по скважине под действием выделяющихся из болота газов.

Сейсморазведочным партиям разрешается иметь на месте работ (вне пределов опасной зоны) до трехсуточного запаса ВМ (непрерывно охраняемого). Количество ВМ, необходимое для работы одной смены, можно хранить в пределах опасной зоны в надежном укрытии.

Для производства взрывных работ в сейсмических партиях допускается только электрический способ взрывания с помощью взрывных машинок, разрешенных к применению органами Госгорпромнадзора Украины. Источник тока должен обеспечивать ток силой не менее 1 А для каждого электродетонатора (ЭД) при количестве одновременно взрываемых ЭД до 100 шт.

Минимально допустимые величины радиусов опасных зон при взрывах в шурфах и на поверхности – 100 м, в скважинах – 30 м. При взрывании зарядов в шурфах, когда $W \leq 10$ м, радиус опасной зоны для людей должен быть не менее 200 м.

Взрывпункт следует располагать с наветренной стороны от точки взрыва.

При взрывании зарядов в одиночных скважинах время подхода взрывника к устью скважины после взрыва не лимитируется. При одновременном взрывании нескольких скважин (метод групповых зарядов) подход после взрыва к устью скважин разрешается не ранее чем через 5 мин.

Запрещается перебуривать скважины после производства в них взрыва.

На станции взрывного пункта в процессе работы разрешается находиться членам взрывной бригады, водителю транспортного средства и лицам, осуществляющим руководство взрывными работами или контроль за их выполнением.

Радиостанции, используемые для обеспечения связи при взрывных работах, разрешается устанавливать на станции взрывного пункта в специальном изолированном отсеке кузова. В этом отсеке запрещается хранить и перевозить электродетонаторы.

Ввод электровзрывной магистрали в отсек, где установлена радиостанция, допускается, если магистраль выполнена экранированным двухпроводным кабелем с заземлением экрана.

Взрывная магистраль должна быть изготовлена из гибкого провода, концы проводников электродетонаторов должны быть накоротко замкнуты до момента присоединения их к магистральным проводам.

Запрещается применение для взрывной и моментной магистрали и телефонной связи проводов с поврежденной изоляцией и без специальных вилок, предназначенных для подключения к аппаратуре и исключающих ошибочное включение.

Моментная магистраль внешне должна заметно отличаться от электровзрывной магистрали.

На пункте взрыва при ведении взрывных работ разрешается применять только одну электровзрывную магистраль.

Скважины, пробуренные в устойчивых породах и заряженные без забойки, до отстрела должны находиться под охраной.

Запрещается опускание зарядов в скважины с применением бурового инструмента (шестов) и других предметов, используемых в качестве толкателей.

Необходимость шаблонирования скважин перед спуском заряда определяется в проекте.

Опускают подготовленные заряды в скважину или в воду с соблюдением мер предосторожности. Натяжение взрывной магистрали при этом не допускается.

Заклинившийся в выработке заряд должен быть извлечен из нее и после прочистки вновь помещен в скважину и взорван. При невозможности извлечения заряда он ликвидируется дополнительно спущенным зарядом.

Отказавший заряд должен быть извлечен из скважины и уничтожен взрыванием в безопасном месте. Если извлечь его невозможно, то он ликвидируется дополнительно спущенным зарядом.

Использование ВМ при сейсморазведочных работах на водных бассейнах должно проводиться по специальным проектам, согласованным с заинтересованными организациями и органами надзора.

В зависимости от заданной величины и глубины заложения заряда должен быть определен характер действия взрыва и установлены радиусы опасных зон (по разлету осколков, сейсмике и т.п.), местонахождение взрывной станции, людей, блиндажа для укрытия. Если в установленных опасных зонах находятся люди или оказались какие-либо сооружения или здания, то до решения вопросов безопасности в установленном порядке заряды взрывать не разрешается.

Технические данные о произведенных взрывных работах записывают в журнал учета работ в день производства взрыва. Этот журнал является техническим отчетом о выполненных работах.

Перед взрыванием зарядов в скважинах или шурфах над зарядом помещают забойку. В качестве забоечного материала используют воду, буровой раствор или грунт.

5.2 Прострелочно-взрывные работы в нефтяных, газовых и водных скважинах

Прострелочно-взрывные работы в глубоких скважинах выполняются при бурении, испытании и эксплуатации скважин на нефть, воду и другие полезные ископаемые. К взрыву или выстрелу прибегают при боковом отборе образцов горных пород и проб жидкостей и газов в скважинах, необходимости вскрыть и повысить отдачу пластов перфорацией, через обсадную колонну и путем разрыва горных пород, при авариях.

5.2.1 Технология прострелочно-взрывных работ

Перфорацию скважин осуществляют в обсаженных скважинах для повышения отдачи или приемистости пластов. В горной породе через трубы и цементное кольцо пробивают каналы или создают в призабоечной зоне горных пород дополнительные трещины, обеспечивающие дополнительный приток полезного ископаемого в скважину. Для этой цели применяют

стреляющие перфораторы – пулевые, торпедные (снарядные) и кумулятивные.

Торпедные перфораторы в отличие от пулевых стреляют разрывными снарядами. Снаряд пробивает обсадную колонну и разрывается за ней, образуя в породе каверну с сетью расходящихся трещин. Применяются эти перфораторы при вскрытии пластов малопроницаемых, сложенных породами средней крепости.

В кумулятивных перфораторах использовано пробивное действие кумулятивных струй, возникающих при взрыве помещенных в перфораторы зарядов специальной конструкции. При взрыве кумулятивная плазменная струя пробивает (прожигает) боковую стенку обсадной трубы и создает отверстие, через которое нефть или газ поступают в скважину.

Кумулятивные перфораторы применяются в нефтедобыче при вскрытии пластов средней и высокой плотности и крепости; при вскрытии пластов через две-три колонны обсадных труб с цементными кольцами, а также через трубы высокой прочности и цементные кольца большой толщины для перфорации скважин малого диаметра; при вскрытии пластов при спущенной колонне насосно-компрессорных труб и герметизированном устье скважины; при вскрытии пластов большой мощности; при перфорации скважин с обсадной колонной, имеющей суженные места.

Взрыв кумулятивных зарядов производят с помощью детонирующего шнура и взрывного патрона, действующего от электрического или ударного импульса. Кумулятивные перфораторы отличаются тем, что зарядное устройство в них изолировано от скважинной жидкости герметичным корпусом (рис. 5.2).

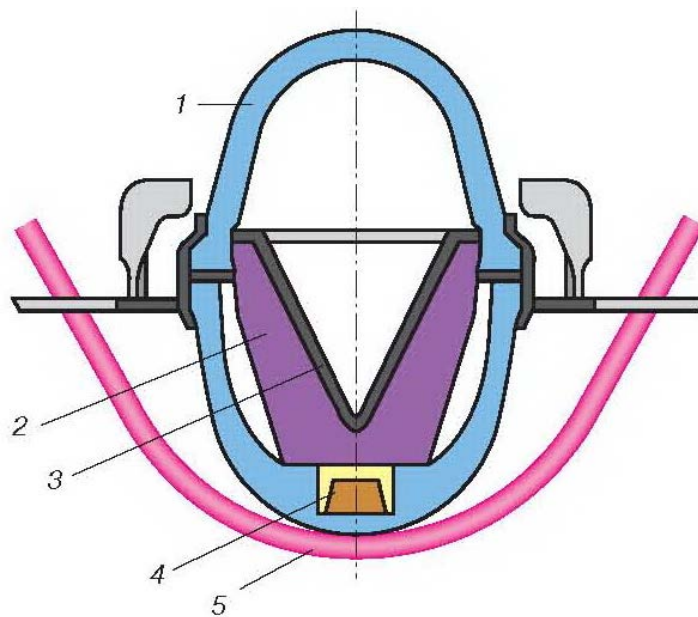


Рис. 5.2 Кумулятивный заряд для бескорпусного перфоратора:
 1 – оболочка заряда; 2 – шашка заряда; 3 – облицовка заряда;
 4 – промежуточный детонатор; 5 – детонирующий шнур

При перфорации скважин корпусными перфораторами обсадная колонна, если она зацементирована в стволе скважины, не разрушается.

К сожалению, со временем производительность скважины падает. Это происходит вследствие забивки каналов и трещин в пластах различными отложениями (осадками), что уменьшает проницаемость пластов и вызывает снижение пластового давления в залежи вплоть до полного прекращения нефтеотдачи. Одним из эффективных путей преодоления этого нежелательного процесса и интенсификации добычи нефти и газа является повышение проницаемости прискважинной зоны за счет применения специальных пороховых скважинных генераторов давления, создающих искусственные трещины в пласте.

При горении порохового заряда, опущенного в скважину, образующиеся газообразные продукты сгорания создают давление, равное или превышающее пластовое. Это давление вызывает разрыв пласта и образование остаточных трещин, а также оказывает термическое и химическое воздействие на пласт, приводящие к растворению твердых парафиновых, асфальтосмолистых и других конденсированных отложений, забивающих каналы в пластах. К газогенератору обычно присоединяют

кумулятивный перфоратор для образования в стенке скважины каналов, через которые в пласт закачивают газожидкостную смесь.

5.2.2 Направление совершенствования прострелочно-взрывных работ

Ввиду постепенного истощения залежей нефти и газа на малых и средних глубинах все большее значение приобретают разведка и эксплуатация глубинных месторождений. В настоящее время средняя глубина нефтяных и газовых скважин в России составляет 2 км. Температура на этой глубине достигает 100°C , в то время как на глубине 4...4,5 км она составляет уже 200°C , а на глубинах 6...7 км, где в настоящее время ведется разведочное бурение, температура может достигать 300°C . Экстремальные температурные условия сильно усложняют применение ВВ, учитывая, что заряд должен находиться при столь высокой температуре достаточно длительное время – от

6 ч до 2 сут.

Большинство известных промышленных ВВ начинают в заметной степени разлагаться уже при $160...200^{\circ}\text{C}$ и поэтому непригодны при глубинном бурении. В связи с этим возникла проблема разработки термостойких взрывчатых материалов, которые могли бы обеспечить безопасное и эффективное проведение прострелочно-взрывных работ в условиях глубинных высокотемпературных скважин.

Для решения этой проблемы был разработан детонирующий шнур с нитевидной сердцевиной из эластичного взрывчатого материала с удельной массой 1 г/м. Такой термостойкий высокопрочный детонирующий шнур из эластичного взрывчатого материала детонирует при температуре 200°C и давлении 150 МПа в перфораторах и торпедах для повышения нефтеотдачи глубоких нефтяных скважин.

5.2.3 Требования безопасности ведения прострелочно-взрывных работ

Подвезенные к месту взрывных работ взрывчатые материалы, заряженные прострелочные и взрывные аппараты должны храниться в специально отведенном месте. При хранении взрывчатых материалов, прострелочных и взрывных аппаратов в передвижной зарядной мастерской (лаборатории перфораторной станции) она должна располагаться от устья скважины не ближе 20 м.

Разборка зарядов взрывчатых веществ, средств инициирования, а также прострелочных и взрывных аппаратов, снаряженных на заводах-изготовителях, запрещается.

Снаряжение и зарядание прострелочных и взрывных аппаратов должны проводиться в соответствии с инструкцией по применению:

- в передвижных зарядных мастерских, лабораториях перфораторных станций;
- в приспособленных помещениях, расположенных не ближе 20 м от скважины (навес, будка, сарай и т.п.);
- на открытых площадках, подготовленных для работы в соответствующих погодных условиях.

Взрывные патроны, электродетонаторы, электровоспламенители, а также заряженные прострелочные и взрывные аппараты должны размещаться и транспортироваться таким образом, чтобы исключить контакт их проводов с металлическими предметами и сооружениями.

Электровоспламенители, предназначенные для прострелочных аппаратов, должны проверяться на целостность цепи и электрическое сопротивление мостиков:

- а) до установки в камеру аппарата;
- б) после установки в камеру;
- в) перед взрыванием в скважине.

Переноску вручную заряженных прострелочных и взрывных аппаратов массой более 10 кг необходимо осуществлять с применением приспособлений, исключающих их падение.

Установка средств инициирования в прострелочный или взрывной аппарат должна осуществляться только непосредственно у устья скважины перед спуском аппарата.

Допускается установка средств инициирования в прострелочно-взрывной аппарат в лаборатории перфораторной станции (передвижной зарядной мастерской) при применении блокировочного устройства, исключающего случайное их срабатывание.

Запрещается спуск прострелочно-взрывных аппаратов без предварительного шаблонирования ствола скважины с одновременным замером гидростатического давления и температуры бурового раствора в интервале прострелочно-взрывных работ.

Запрещается проведение прострелочных или взрывных работ в скважинах:

а) во время пурги, грозы, буранов и сильных (при видимости менее 50 м) туманов за исключением случаев выполнения работ в закрытых помещениях буровых;

б) в сухих газизирующих и поглощающих раствор скважинах без применения лубрикаторов.

Спуск и подъем прострелочных и взрывных аппаратов в скважине следует проводить только при изолированных концах проводников электровзрывной магистрали (каротажного кабеля).

Прострелочные и взрывные аппараты массой более 50 кг или длиной более 2 м должны подниматься над устьем скважины и опускаться с применением грузоподъемных механизмов.

Если прострелочный или взрывной аппарат не проходит в скважину до заданной глубины, он должен быть извлечен. При извлечении аппарата у скважины могут находиться только персонал взрывной бригады и лица, работающие на подъемном механизме.

Неизрасходованные прострелочные и взрывные аппараты должны быть доставлены в зарядную мастерскую.

Прострелочно-взрывные работы в морских скважинах должны проводиться при благоприятном прогнозе погоды на время, необходимое для их производства. Допустимые параметры скорости ветра и волнения моря определяются техническими характеристиками морских буровых установок и транспортных средств, используемых для доставки персонала, ВМ и каротажно-перфораторных станций. При получении штормового предупреждения во время производства прострелочных и взрывных работ спущенные в скважину прострелочные или взрывные аппараты должны быть отстреляны без промедления.

5.3 Торпедирование скважин

Зачастую при бурении скважин на большой глубине буровой инструмент «прихватывает», то есть на него обваливается порода из стенок скважины, заклинивает долото, бурильная колонна прикрепляется к стенке скважины. Ликвидация таких аварий обходится дорого, в некоторых случаях погибает вся скважина.

С помощью каскада микровзрывов можно, последовательно ослабляя резьбовые соединения на разных глубинах, отвинтить колонну; взрывом можно встряхнуть многотонную буровую колонну труб, ослабив сцепление инструмента с породой. Взрывом фугасных и кумулятивных торпед ликвидируют аварии, вызванные обрывом труб в скважине – иногда это единственный способ спасения скважины. Широкое распространение получило использование взрыва для очистки фильтров и фильтровой зоны водяных скважин на больших глубинах; иногда этот способ применяется на нефтяных скважинах.

Взрывная очистка фильтров позволяет увеличить дебит скважин вдвое, в отдельных случаях он возрастал многократно.

Торпедирование скважин производится взрывом заряда на заданной глубине скважины.

Перед каждым торпедированием должны быть получены следующие данные:

- общая глубина скважины;
- длина и диаметр колонны обсадных труб или диаметр скважины при отсутствии в намеченном месте взрыва обсадных труб;
- высота уровня жидкости;
- наличие в скважине пробок, обвалов, повреждений в трубах и т.п., которые могут препятствовать спуску торпеды на нужную глубину;
- наличие на дне скважины грязи или глинистого осадка.

Указанные данные наносятся графически на продольный разрез по оси скважины.

С этой целью применяют торпеды герметичные (рис. 5.3) и негерметичные.

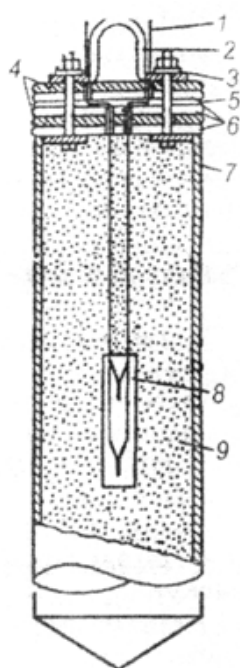


Рис. 5.3 Торпеда:

- 1 – провод;
- 2 – металлическая скоба;
- 3 – свинцовая шайба;
- 4 – фланец;
- 5 – гудрон;
- 6 – резиновые прокладки;
- 7 – корпус;
- 8 – боевик;
- 9 – взрывчатое вещество

Герметичные торпеды используют в агрессивных средах, а также для обрыва труб и вскрытия пластов через обсадные трубы диаметром 146, 168 и 219 мм на средних глубинах.

Негерметичные торпеды предназначены для производства крупных взрывов с целью повышения отдачи или приемистости пластов, сложенных плотными низкопроницаемыми породами и не перекрытых обсадными

трубами. Эти торпеды собираются из цилиндрических шашек ТГ-50/50 на стальном тросе в гирлянду длиной до 40 м. В негерметичных торпедах применяется взрыватель замедленного действия ВЗД-10, обеспечивающий замедление взрыва от 6 ч до 10 сут.

Над торпедой в скважине во избежание повреждения ее ствола ставят цементный мост высотой $h_i \geq 1,4\sqrt[3]{Q}$. На практике высота моста в 2...4 раза превышает расчетную и всегда больше 25...30 м.

В последние годы в практику нефтедобычи внедряются методы внутрипластовых взрывов с использованием пастообразных и жидких ВВ. Применение таких ВВ, задавливаемых в поры и трещины пласта, позволяет увеличить радиус разрушаемой взрывом прискважинной зоны с образованием системы дополнительных трещин и, кроме того, снижает воздействие взрыва на обсадную колонну скважины.

Для разрушения оставленных на забое скважины металлических предметов, а также прослоев очень твердых пород применяются кумулятивные торпеды, а для перерезания насосно-компрессорных и обсадных труб в скважинах – кумулятивные труборезы.

Величина заряда торпеды зависит от ее внутреннего диаметра, длины, участка скважины, подлежащего торпедированию, и определяется по формуле:

$$Q = 0,1 \frac{\pi d^2}{4} \Delta_{\text{зар}} l, \text{ кг}, \quad (5.9)$$

где d - внутренний диаметр торпеды, м;

$\Delta_{\text{зар}}$ - плотность заряжения, кг/м³;

l - длина заряда в торпедe, м.

При дроблении оставшихся в скважине долот и других металлических предметов в зависимости от их прочности и размера масса заряда на практике принимается (в кг):

Для долот диаметром:

400 мм.....25...30

300 мм.....	22...25
Для клиньев.....	12...15
Для дисков и плашек.....	4...8

При разрушении обсадных труб масса заряда в зависимости от диаметра труб составляет:

Диаметр труб, мм	100	125	150	200	250	300	400
Масса заряда, кг	6	9	13	16	18	22	30

Выбор материала для изготовления оболочки торпеды и расчет толщины ее стенок производится с учетом возможного давления столба воды в скважине, которое определяется по формуле:

$$P = \frac{H}{10}, \quad (5.10)$$

где P - давление столба воды в скважине, МПа;

H - максимальная высота воды над торпедой, м.

Наружный диаметр оболочки торпеды определяется с учетом ее свободного прохождения и должен быть на 25 мм меньше диаметра скважины, а при торпедировании бурильных, насосно-компрессорных и обсадных труб - на 10 мм. В последнем случае при необходимости увеличения массы заряда допускается уменьшение зазора до 6 мм.

Полный вес торпеды должен не менее, чем в 1,5 раза превышать вес вытесненной ею жидкости. При меньшем весе в нижнюю часть торпеды для ее утяжеления вводится дополнительный груз.

Необходимую толщину цилиндрической оболочки торпеды определяют по формуле:

$$\delta = 10^{-2} Pd / 2\sigma, \text{ м}, \quad (5.11)$$

где P - давление жидкости в скважине, МПа;

d - внутренний диаметр торпеды, м;

ρ - допускаемое напряжение на сжатие материала цилиндрической оболочки торпеды, принимаемое для стали 100,0 МПа.

Чтобы не происходило намокание заряда ВВ, конструкция оболочки торпеды должна обеспечивать полную ее герметичность при статическом давлении на заданной глубине торпедирования.

Для проверки герметичности необходимо заполнить торпеду сухим песком и опустить в то место скважины, где намечается взрыв. В таком состоянии торпеда должна пробыть в скважине не менее 1 ч. Это позволит определить герметичность оболочки и проходимость ее по скважине.

Боевик в торпедо располагают в верхней части заряда и вводят в торпеду с особой осторожностью, без сильного давления, нажима и толчков.

В удлиненных торпедах (у которых длина превышает 10 диаметров) допускается установка второго боевика в средней части.

Провода, выводимые из торпеды, должны быть без сростков, многожильные, медные, сечением не менее 0,75 мм², с резиновой или полихлорвиниловой оболочкой.

Резьба стяжных болтов и гаек по окончании всех операций по снаряжению торпеды должна быть тщательно очищена и только после этого можно плотно закрыть торпеду, оберегая проводники от повреждения.

Для полной герметизации ВВ поверх заряда накладывают слой смолы, вара или другого водонепроницаемого вещества, причем этот слой отделяют от заряда ВВ пергаментной бумагой.

Место вывода проводов электродетонаторов должно тщательно изолироваться.

Скважина к моменту опускания снаряженной торпеды должна быть соответствующим образом подготовлена, для чего необходимо:

- удалить из нее фильтр, если он был в ней установлен, и эрлифтные трубы;
- убедиться в отсутствии обвалов в скважине;
- прочистить и промыть скважину;

- освободить обсадные трубы и поднять их на высоту, гарантирующую от возможного повреждения при взрыве;
- если последнее невозможно, то для защиты обсадных труб ограничивают вес взрываемых торпед, устраивают воздушные завесы, предохранительные пробки из твердых насыпных материалов или цемента.

Для снаряжения торпед следует применять плотные, наиболее мощные ВВ.

Для инициирования ВВ в зависимости от условий применяют как обычные, так и специальные электродетонаторы.

Снаряженная торпеда должна опускаться лебедкой в скважину равномерно, без толчков. Для спуска могут применяться металлические штанги, испытанные и достаточно вытянутые стальные тросы или пеньковые канаты.

На тросах и канатах, применяемых для опускания торпед, должна быть нанесена отметка, соответствующая нужной глубине погружения торпеды в скважину, показывающая предел их разматывания.

В случае взрывания торпеды не на дне скважины, а на определенной глубине, при опускании торпеды необходимо учитывать растяжение каната.

Электропровода от торпеды не должны привязываться к канату (тросу, штанге), на котором она опускается в скважину.

Торпеды должны опускаться в скважину в присутствии лица, ответственного за бурение или эксплуатацию скважины.

Если торпедирование используется для разрушения мощного пласта, то производится несколько последовательных взрывов, начиная снизу скважины.

При резком уменьшении дебита артезианских и водопонижающих скважин из-за закупорки фильтров (со стальными или латунными сетками) песчано-глинистыми отложениями, зарастания отверстий, коррозии и по

другим причинам, очистку фильтров следует производить путем взрыва специальных торпед из детонирующего шнура (ТДШ).

Торпеды из детонирующего шнура предназначены для очистки фильтров в нефтяных и водозаборных скважинах, а также для ликвидации аварий, связанных с прихватом труб. Заряд этих торпед состоит из одного или нескольких отрезков ДШ, свойства которого определяют условия применения торпед.

Длина ТДШ определяется длиной фильтра, требующего очистки, а мощность ее обычно не превышает двух нитей ДШ при стальных сетках и одной нити при латунных сетках.

При использовании ТДШ на глубинах до 50 м можно применять детонирующий шнур марки ДШ-А, а при глубине торпедирования более 50 м - детонирующий шнур марки ДШ-В в полихлорвиниловой оболочке.

В тех случаях, когда раздутие труб при их обрыве может воспрепятствовать демонтажу колонны, целесообразно применение специальных кумулятивных зарядов (рис. 5.4).

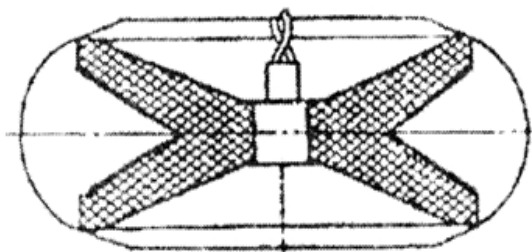


Рис. 5.4 Кумулятивный труборез

Для торпедирования скважин должны использоваться торпеды заводского изготовления. При необходимости допускается применять торпеды, изготовленные на месте по проектам, утвержденным в установленном порядке.

Зарядка торпеды разрешается только после того, как на скважине будут закончены все подготовительные работы к торпедированию и скважина проверена шаблоном.

Взрывные работы в морских акваториях должны проводиться при благоприятном прогнозе погоды на время, необходимое для их производства.

При получении штормового предупреждения во время производства работ спущенные в скважину взрывные аппараты должны быть отстрелены без промедления.

5.4 Тушение пожаров газовых и нефтяных фонтанов взрывом

В силу специфичности ряда газовых и нефтяных месторождений, особенно новых, в процессе бурения скважин имеют место случаи открытого фонтанирования, иногда сопровождающиеся свирепыми пожарами на земле. Пожар открытого фонтана, помимо нарушения нормальной эксплуатации залежи, потери ценного сырья и загрязнения окружающей среды, вызывает значительные затраты материальных и людских ресурсов на его ликвидацию. Кроме того, при открытом фонтанировании газом или нефтью вокруг скважины образуется пожаровзрывоопасная зона.

По мощности (дебиту) газовые и газонефтяные фонтаны условно делятся на слабые – с дебитом газа до 500000 м³ в сутки, средние – от 500000 до 1000000 м³ в сутки и мощные – 1000000 м³ в сутки и более. Горящий мощный газовый фонтан представляет собой столб огня диаметром у основания 20...25 м и высотой 50...60 м и более (рис. 5.5).

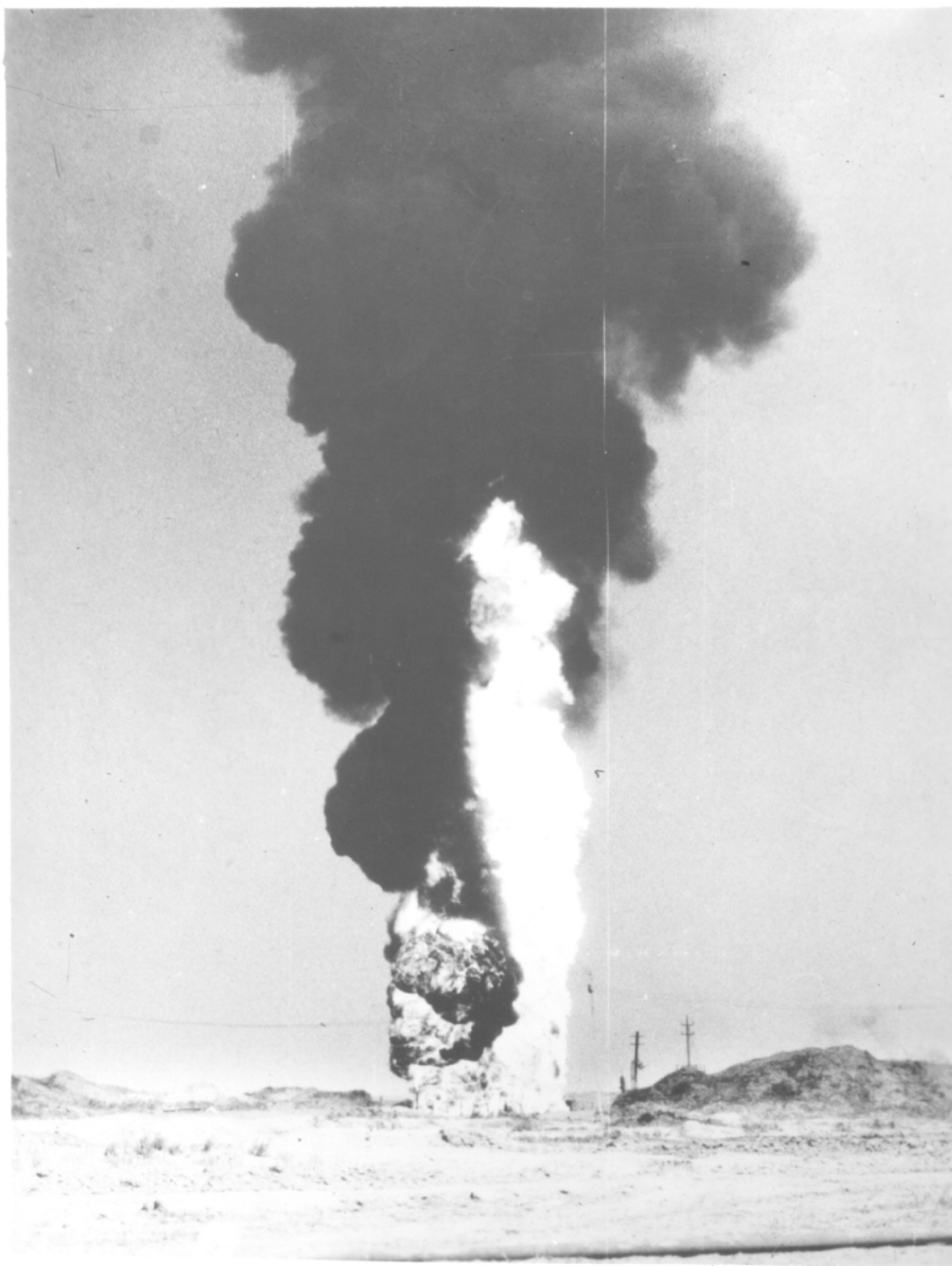


Рис. 5.5 Пожар мощного газового фонтана
(скважина № 321, г. Карачаганак, Узбекистан, лето 1991 г.)

Тушение пожаров фонтанов производится обычно при помощи водяных струй, подаваемых от ручных и лафетных стволов. Однако не все пожары фонтанов удается тушить только водяными струями. Так, например, пожары мощных фонтанов, фонтанов с раздробленной струей, а также пожары фонтанов в виде грифонов (бурунов) не поддаются тушению

водяными струями и поэтому приходится применять в дополнение к ним или самостоятельно взрыв заряда ВВ.

Для того, чтобы во время взрыва заряда ВВ фонтанная арматура не пострадала, необходимо установить заряд не ближе 3 м от фонтанной арматуры.

Взрыв производится у негорящей части струи фонтана (между устьем скважины и пламенем), которая образуется, например, при направлении на нижнюю часть факела фонтана несколько водяных струй (рис. 5.6).

Образующаяся при взрыве воздушная волна разрывает струю фонтана на две части: нижняя отбрасывается к устью скважины, а верхняя – к зоне горения. Механизм тушения заключается в том, что газовый пузырь взрыва на считанные секунды изолирует нефть от зоны горения. Искусство расчета взрыва состоит в том, чтобы за это время отброшенная вверх часть нефтяной струи успела полностью сгореть. Наряду с этим силой давления взрыва на мгновение прекращается поступление газа и нефти из скважины и пламя отрывается от нее, как бы отбрасываясь вверх.

Подача заряда ВВ к устью скважины может производиться двумя способами:

- по стальному тросу, перекинутому через блоки, подвешенные на специальных опорах (мачтах);
- на тележке с уклоном по рельсовым путям, проложенным к устью скважины (см. рис. 5.6).

Применение того или другого способа зависит от мощности фонтана и создавшейся обстановки. Следует отметить, что подача заряда ВВ по тросу при мощных фонтанах требует большого количества воды для охлаждения системы тросов и опор и территории вокруг фонтана в радиусе 40...50 м, что иногда бывает трудно осуществить.

В качестве заряда для производства взрыва следует применять ВВ с большим фугасным действием, но в то же время стойкие к действию высоких температур, малочувствительные к ударам и трению, маловосприимчивые к

детонации, т.к. во время пожара в струе фонтана, охлаждаемого водяными струями, все время происходят сильные хлопки (вспышки) газа. Наиболее подходящими ВВ, отвечающие этим требованиям, являются тротил и аммонит, но предпочтение следует отдать аммониту.

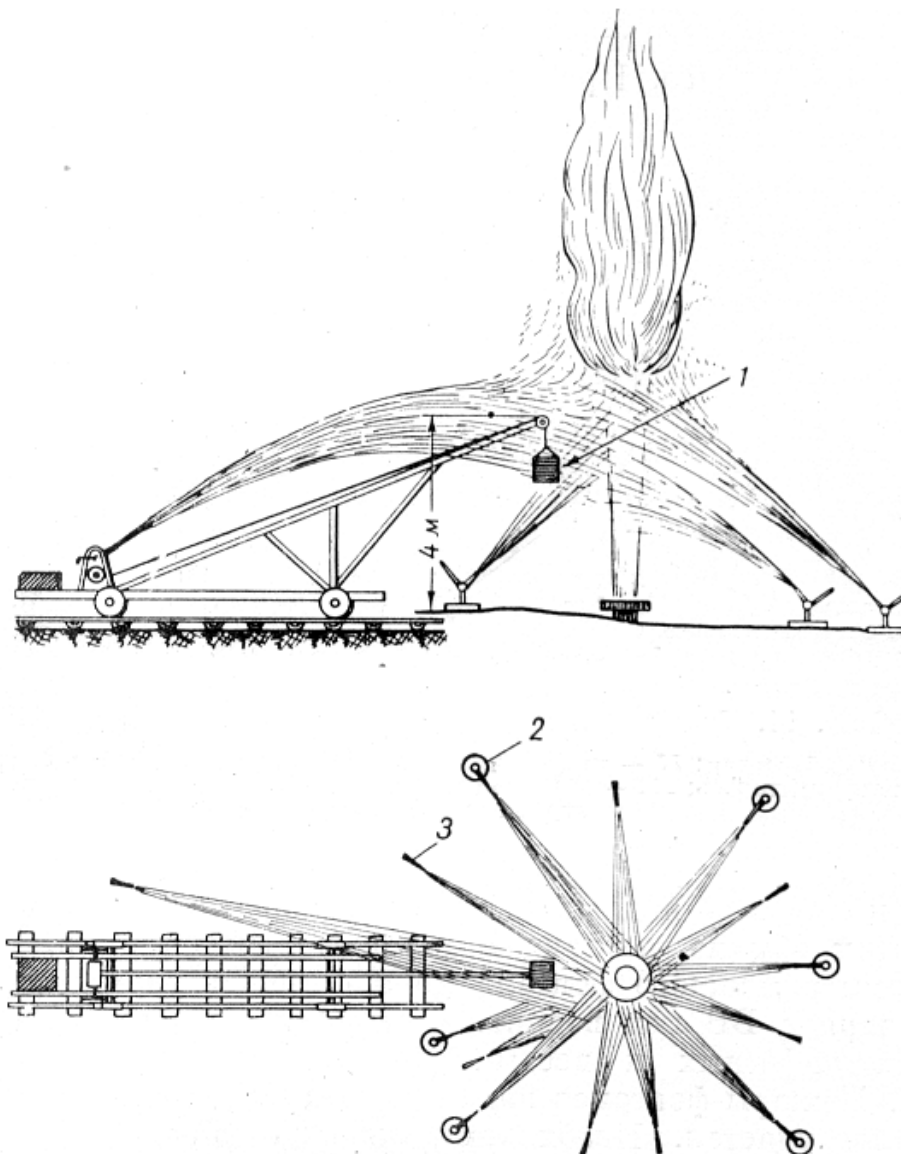


Рис. 5.6 Тушение пожара мощного фонтана взрывом заряда ВВ под водяными струями:

1 – заряд ВВ; 2 – лафитный ствол; 3 – ручной ствол

Масса заряда определяется в зависимости от мощности фонтана и формы факела (факел может быть раздробленным или концентрированным). Для тушения пожаров средних и мощных газовых и газонефтяных фонтанов следует принять заряды ВВ массой от 50 до 300 кг. Практика показала, что на каждые 500 тыс. м³ газа в сутки требуется заряд ВВ массой 50 кг. Как

правило, для концентрированной струи фонтана требуется меньший заряд, чем для раздробленной.

Для пожаров слабых фонтанов, не поддающихся тушению водяными струями, в особенности при раздробленной форме факела, требуется заряд массой от 50 до 100 кг.

Заряд ВВ помещается обычно в деревянном ящике с двумя крышками, объем которого определяют в зависимости от массы заряда, исходя из того, что в 1 м³ можно разместить заряд прессованного аммонита массой 800 кг или рассыпного массой 600 кг. Для большей гарантии от проникновения влаги в заряд ВВ рекомендуется выложить ящик изнутри медицинской пленкой (в виде сшитого мешка). Применение пакли, бумаги, ветоши и других легкогорючих материалов не допускается, т.к. во время взрыва тлеющие частицы этих материалов воспламеняют газ через 2...3 с после отрыва пламени и фонтан загорается.

После того как ящик заполнен ВВ, укладываются электродетонаторы, пропускаются детонаторные провода через отверстия в крышке и боковой стороне; затем забивают крышку гвоздями, замазав предварительно щели между внутренней крышкой (промежуток между наружной и внутренней крышками равен 70...80 мм) и стенками ящика, а также отверстия для пропуска проводов влажной глиной, битумом или аналогичными веществами.

Детонаторные провода, прикрепляются гвоздями к внутренней крышке и боковой стороне так, чтобы при натяжении проводов не потревожить электродетонаторы. Детонаторные или магистральные провода, идущие от заряда ВВ на протяжении 20...30 м обертываются асбестовым полотном (лентой) или шнуром. Это необходимо для предохранения проводов от воздействия высоких температур.

Тушение возникающих при нефтяных и газовых выбросах на скважинах пожаров с применением взрывных работ должно проводиться в

соответствии с требованиями инструкций, согласованных с организацией - экспертом по безопасности работ.

Взрывать заряд ВВ следует на рассвете, когда легко определить направление ветра и состояние фонтана (зоны загазованности и т.д.) после взрыва для принятия мер пожарной безопасности. При пожаре на густо застроенных участках следует избегать применения больших зарядов ВВ. В этих случаях целесообразно применять сначала малый заряд и только после неудачи переходить на большой, например, пожар фонтана с дебитом 2,5...3,0 млн. м³ в сутки можно потушить взрывом заряда аммонита массой 300 кг.

Первую победу над огненным смерчем взрыв одержал в 1931 году. Почти девять месяцев горела в Майкопе нефтяная скважина. За это время огонь не смогли остановить ни мощные струи воды, ни вспомогательные скважины для снижения давления в нефтяном пласте. Необузданный пожар укротили взрывом 50 кг динамита над устьем скважины.

Если открытое фонтанирование не поддается ликвидации взрывом заряда ВВ, то наиболее эффективными оказываются ядерные заряды (ЯЗ). Остановимся немного подробнее на ликвидации с помощью ядерного взрыва мощного газового фонтана в Узбекистане на Урта-Булакском месторождении. 1 декабря 1963 года в одной из разведочных скважин возник открытый газовый фонтан высотой 70 м с объемом выбрасываемого газа ~18 млн. м³ в сутки. Из-за содержания метана и сероводорода этот фонтан представлял большую опасность для окружающей среды и был зажжен во избежание отравления людей и животных. Фонтан горел три года. Ежегодно сгорало столько газа, что его хватило бы для снабжения такого промышленного центра, как Екатеринбург. Попытки ликвидировать фонтан всеми известными способами к успеху не привели. Физикам-ядерщикам было дано задание в кратчайшие сроки создать для перекрытия скважины ЯЗ, выдерживающий температуру 73⁰С на глубине 1,5 км. Схема «глушения» горящего газового фонтана приведена на рис. 5.7. Проведению взрыва

предшествовал ряд нештатных ситуаций, связанных с опусканием ЯЗ в скважину. И тем не менее работа прошла успешно: через несколько секунд после взрыва факел пламени погас навсегда.



Рис. 5.7 Схема «глушения» газового фонтана в Узбекистане в 1966 г.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте общую характеристику способов возбуждения сейсмических волн.
2. Перечислите основные требования к ведению взрывов при сейсморазведке.
3. Дайте общую характеристику прострелочно-взрывных работ.
4. Изложите технологию прострелочно-взрывных работ в скважинах.
5. Перечислите основные требования по технике безопасности ведения прострелочно-взрывных работ в скважинах.
6. Изложите технологию торпедирования скважин.
7. Назовите конструктивные особенности герметичной торпеды.

8. Какие пожары считаются самыми свирепыми на Земле и почему?
9. Изложите механизм тушения газовых и нефтяных фонтанов.
10. Приведите примеры укрощения газовых фонтанов.

Глава 6

ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

6.1 Валка деревьев

Валку деревьев с использованием энергии взрыва применяют для очистки площадей под строительство, сельскохозяйственные угодья, а также для заготовки древесины и быстрой прокладки просек при тушении лесных пожаров.

Существует два способа валки деревьев - с оставлением пня на месте и вместе с корнем.

При валке деревьев взрывным способом применяют заряды, расположенные в подкопах, шпурах, и наружные заряды, плотно прикладываемые к взрываемому дереву.

6.1.1 Валка деревьев наружными зарядами ВВ

Метод наружных (накладных) зарядов заключается во взрывании зарядов ВВ, расположенных непосредственно на поверхности разрушаемого объекта. Наружные заряды применяют в тех случаях, когда невозможно или нецелесообразно производить бурение для размещения зарядов. Этот метод может применяться при перебивании удлиненных предметов, в т.ч. при валке деревьев.

Величина наружного заряда при перебивании предметов удлиненной формы (брус, рельс, бревно и т.п.) определяется по формуле:

$$Q = 10^3 K_s S, \quad (6.1)$$

где K_s – удельный расход (расчетный коэффициент), кг/м², принимаемый по табл. 6.1 (здесь же для сравнения приведен удельный расход ВВ на перебивание металлических предметов);

S – площадь поперечного сечения перебиваемого предмета, м².

Таблица 6.1

Расчетный коэффициент K_s для перебивания удлиненных предметов
аммонитом 6ЖВ

Материал	K_s , кг/м ²
1	2
Мягкое дерево (осина, ольха): сухое сырое	10...12 13...14
Дерево средней крепости (сосна, ель): сухое сырое	11...13 16...18
Твердое дерево (дуб, ясень, береза, лиственница и др.): сухое сырое	17...12 24...32
Вязкое дерево (вяз, карагач, береза): сухое сырое	19...24 2,6...3,4
Сталь: хрупкая каленая вязкая	180...200 220...250
Чугун: серый белый	120...140 150...170

Для производства взрывных работ методом наружных зарядов необходимо применять мощные ВВ (тротил, аммонит 6ЖВ и т.п.).

Форма наружного заряда должна быть по возможности плоской, толщина его должна быть не менее критического диаметра применяемого ВВ.

Для разрушения предметов сосредоточенной формы наружный заряд располагают против центра тяжести по возможности на плоских или вогнутых поверхностях. В некоторых случаях для облегчения работы зарядов ВВ следует искусственно создавать ослабленное сечение (затес дерева, подпиливание, подрезка огнем металлических конструкций и т.п.).

Заряд порошкообразного ВВ в случаях привязки к предмету должен быть запатронирован в эластичную оболочку, которая при креплении к

поверхности разрушаемого предмета легко повторяет ее форму и обеспечивает плотное прилегание заряда.

Для угольных шахт, опасных по газу или пыли, разработана конструкция предохранительного взрывного патрона в жидкостной эластичной полиэтиленовой оболочке (а.с. № 596038. Предохранительный взрывной патрон. Заявл. 02.06.76). Для этого он выполнен криволинейным в виде разомкнутого тора с оребренной поперечными распорными кольцами из эластичного материала наружной поверхностью (рис. 6.1). Распорные кольца предназначены для удержания патрона на стойке за счет силы трения и упругости при их изгибе.

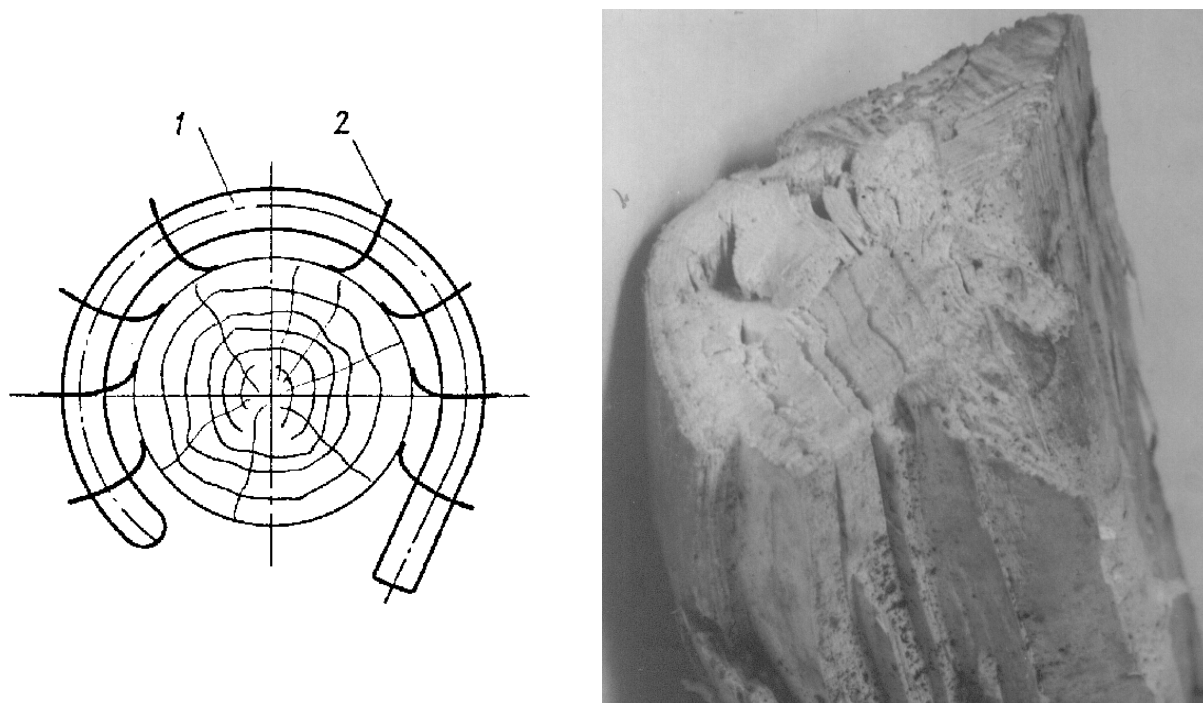


Рис. 6.1 Схематическое изображение предохранительного взрывного патрона ВВ, размещенного на деревянной стойке и результат его взрыва:
1 – корпус патрона; 2 – поперечные распорные кольца

Для повышения эффективности наружные заряды прикрывают забоечным материалом, слой которого должен быть не меньше одной–двух толщин заряда.

В качестве забойки следует применять материал, имеющийся на месте работ, удобный для равномерного расположения на заряде и не содержащий твердых тяжелых предметов (камней, кусков металла и т.п.). Хорошим

забоечным материалом для наружного заряда служит слой песка, супеси и т.п.

При взрывании нескольких наружных зарядов на одном объекте или на нескольких находящихся рядом объектах необходимо заряды размещать так, чтобы взрыв одного из них не повредил соседние заряды. Если это сделать не представляется возможным, взрывание должно производиться только одновременно при помощи электродетонаторов мгновенного действия или детонирующего шнура.

Запрещается закрывать заряд или детонирующий шнур камнями, щебнем и другими тяжелыми предметами.

6.1.2 Валка деревьев шпуровыми зарядами ВВ

При перебивании древесных стволов шпуровыми зарядами шпур бурят примерно на $\frac{2}{3}$ их толщины механическими сверлами.

Масса заряда в шпурах определяется по формуле:

$$q_{\phi} = 2\ddot{A}^2, \text{ кг}, \quad (6.2)$$

где D – диаметр ствола дерева, м;

2 кг/м^2 – удельный расход ВВ на 1 м^2 сечения перебиваемого ствола дерева, увеличенный в $\frac{\pi}{4}$ раза.

При валке дерева с корнем заряд ВВ помещают в подкопку (рис. 6.2).

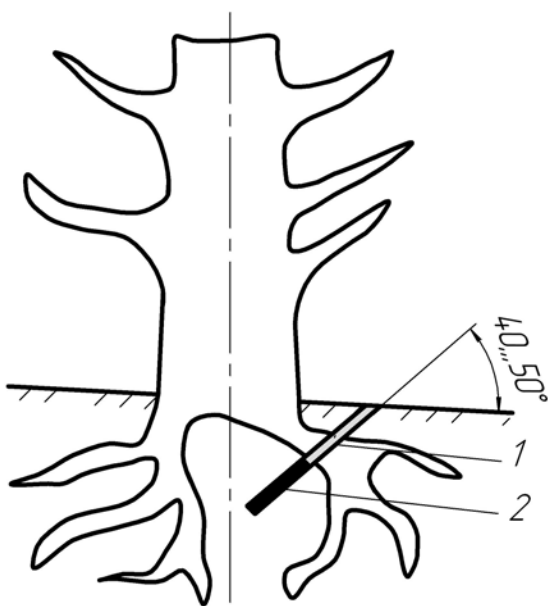


Рис. 6.2 Взрывной способ валки деревьев вместе с корнем с помощью

подкопки:

1 – шпур;

2 – заряд ВВ.

Диаметр подкопки зависит от диаметра ствола дерева. Подкопку деревьев с диаметром стволов до 30 см производят буровыми механизмами с диаметром бура 80 мм. При валке деревьев с диаметром стволов более 0,3 м диаметр бурового инструмента может достигать 150 мм.

Масса шпурового заряда в подкопке рассчитывается по формуле:

$$q_{\phi} = K_{\phi} \ddot{A}, \text{ кг}, \quad (6.3)$$

где K_{ϕ} - удельный расход ВВ на 1 м диаметра ствола дерева, кг/м;

D – диаметр ствола дерева, м.

Удельный расход ВВ, размещенного в подкопке, на 1 м диаметра ствола дерева можно ориентировочно определить по табл. 6.2. Определенный таким образом удельный расход ВВ уточняется опытным путем.

Таблица 6.2

Удельный расход ВВ на 1 м диаметра ствола дерева при взрывной валке вместе с корнем шпуровым методом

Диаметр ствола, м	Значение параметра K_{ϕ} (кг/м) в зависимости от условий взрывния					
	Свежая рубка (до 5 лет)			Давняя рубка		
	щебенист ый грунт с галькой	суглини- стый грунт	торф	щебенист- тый грунт с галькой	суглини- стый грунт	торф
1	2	3	4	5	6	7
0,20...0,25	1,6/1,8	1,8/2,2	1,0/1,2	1,2/1,4	1,4/1,6	0,8/1,0
0,30...0,35	1,8/2,0	2,0/2,4	1,2/1,4	1,4/1,6	1,6/1,8	1,0/1,2
0,40...0,45	2,2/2,2	2,2/2,6	1,4/1,6	1,6/1,8	1,8/2,0	1,2/1,4
0,50...0,55	2,2/2,4	2,4/2,8	1,6/1,8	1,8/2,0	2,0/2,2	1,4/1,6
0,60...0,65	2,4/2,6	2,6/3,0	1,8/2,0	2,0/2,2	2,2/2,4	1,6/1,8
0,70...0,80	2,6/2,8	2,8/3,2	2,0/2,2	2,2/2,4	2,4/2,6	1,8/2,0

Примечание. В числителе приведены значения удельного расхода ВВ для мягких пород (сосна, ель, ольха, пихта, липа, тополь и т.п.), в знаменателе - для вязких и твердых (береза, бук, вяз, дуб, клен, ясень и т.п.).

Следует отметить, что при валке деревьев с диаметром стволов более 1 м применяются две и более подкопки, выбуренные с противоположных сторон ствола. Заряды в этих подкопках взрываются одновременно детонирующим шнуром или электродетонаторами. При этом деревья падают в ту сторону, в которой помещен заряд ВВ.

6.2 Корчевка пней

Корчевка пней взрывным способом применяется при диаметре пня более 0,35 м, а также при пнях любых размеров, расположенных в мерзлых и твердых породах, когда корчевка их машинами по условиям строительства невозможна.

На корчевку пней составляют паспорт буровзрывных работ. В нем даются схемы расположения и величины зарядов. Если корчевка ведется вблизи зданий и сооружений, на нее составляется проект.

Величина зарядов и глубина бурения зависят от породы дерева, давности рубки и толщины пня.

Расположение заряда: при стелющейся системе корней (ель, ольха и др.) - под центром пня (рис. 6.3 а), при редькообразном корне (сосна, береза, дуб и др.) - у центра пня (рис. 6.3 б).

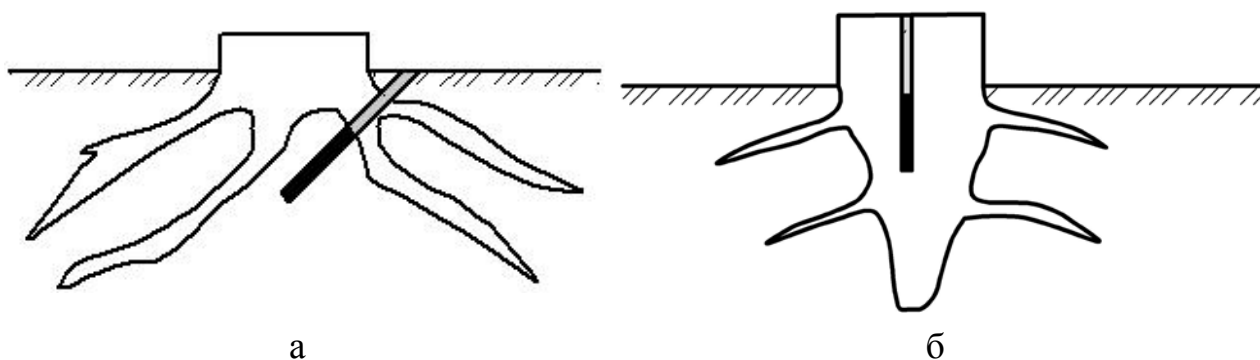


Рис. 6.3 Схема взрывной корчевки пней

Для очистки площадей глубину подкопки принимают равной 1,5 диаметра пня при корчевке пней, 2 диаметрам - при заготовке древесины пней. При корчевке пней в каменистом грунте глубина подкопки может быть

уменьшена на 15...20%, в песке глубину подкопки увеличивают на 15...20%. Если диаметр пня превышает 1 м, делают две подкопки или одну подкопку с прострелкой для образования котла и размещения сосредоточенного заряда.

Массу шпурового заряда определяют по формуле:

$$q_{\phi} = K_n d, \text{ кг}, \quad (6.4)$$

где K_n - удельный расход ВВ в килограммах на 1 м диаметра пня

(табл. 6.3), кг/м;

d - диаметр пня, м.

Контрольная трубка во всех случаях должна быть короче зажигательной не менее чем на 0,85 м при работе на ровной площадке и не менее чем на 1 м – при работе в зарослях или на пересеченной местности.

Таблица 6.3

Удельный расход ВВ на 1 м диаметра пня, кг/м

Диаметр пня, м	Значение удельного расхода (кг/м) в зависимости от условий взрывания					
	Свежая рубка (до 5 лет)			Давняя рубка		
	щебени с-тый грунт с галькой	суглинистый грунт	торф	щебени с-тый грунт с галькой	суглинистый грунт	торф
1	2	3	4	5	6	7
Мягкие породы: сосна, ольха, осина, пихта, липа, тополь и др.						
0,20...0,25	1,6	1,8	1,0	1,2	1,4	0,8
0,30...0,35	1,8	2,0	1,2	1,4	1,6	1,0
0,40...0,45	2,0	2,2	1,4	1,6	1,8	1,2
0,50...0,55	2,2	2,4	1,6	1,8	2,0	1,4
0,60...0,65	2,4	2,6	1,8	2,0	2,2	1,6
0,70...0,80	2,6	2,8	2,0	2,2	2,4	1,8
Твердые и вязкие породы: береза, бук, вяз, дуб, клен, ясень и др.						
0,20...0,25	1,8	2,2	1,2	1,4	1,6	1,0
0,30...0,35	2,0	2,4	1,4	1,6	1,8	1,2
0,40...0,45	2,2	2,6	1,6	1,8	2,0	1,4
0,50...0,55	2,4	2,8	1,8	2,0	2,2	1,6
0,60...0,65	2,6	3,0	2,0	2,2	2,4	1,8
0,70...0,80	2,8	3,2	2,2	2,4	2,6	2,0

Примечание. Значение удельного расхода ВВ следует уточнять опытным путем.

Если производится очистка от пней на больших площадях и параллельно работает несколько бригад взрывников, расстояние между ними должно составлять не менее 300 м, что должно быть показано на ситуационном плане.

Взрывание при корчевке пней огневое.

При корчевке пней диаметром более 1 м и при наличии мощных стержневых корней заряды располагают в двух подкопках, выбуренных с противоположных сторон пня. Такие заряды следует взрывать одновременно детонирующим шнуром или электродетонаторами. Взрывание может производиться при одной подкопке, но с предварительным простреливанием. При корчевке пней, расположенных на косогоре, заряд (подкопка) должен располагаться с нагорной стороны.

При корчевке пней вблизи зданий и сооружений подкопку ведут со стороны зданий. Величина заряда в этом случае должна быть уменьшена на 1/3 против расчетной (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Величина зарядов при корчевке пней вблизи зданий

Грунты	Расчетная масса заряда ВВ, кг/пень					
	Диаметр пня, м	Глубина подкопов, см	Мягкие породы		Твердые породы	
			свежая рубка	давняя рубка	свежая рубка	давняя рубка
1	2	3	4	5	6	7
Суглинки, глины, супеси	0,20...0,29	30	0,36	0,28	0,45	0,32
	0,30...0,39	45	0,6	0,48	0,7	0,48
	0,40...0,49	60	0,9	0,7	1	0,8
	0,50...0,59	75	1,2	1	1,4	1,1
	0,60...0,69	90	1,5	1,3	1,8	1,4
	0,70...0,80	110	2	1,7	2,3	1,8
Щебенистые с галькой	0,20...0,29	30	0,32	0,24	0,36	0,28
	0,30...0,39	45	0,54	0,42	0,6	0,45
	0,40...0,49	60	0,8	0,64	0,9	0,7
	0,50...0,59	75	1	0,9	1,2	1
	0,60...0,69	90	1,3	1,2	1,5	1,3
	0,70...0,80	110	1,8	1,6	2	1,7

1	2	3	4	5	6	7
Торфы	0,20...0,29	30	0,2	0,16	0,24	0,2
	0,30...0,39	45	0,36	0,3	0,42	0,36
	0,40...0,49	60	0,55	0,48	0,6	0,56
	0,50...0,59	75	0,8	0,7	0,9	0,8
	0,60...0,69	90	1,1	1	1,2	1,1
	0,70...0,80	110	1,4	1,3	1,6	1,4

Если пни расположены близко один к другому и корни их тесно переплетаются, все заряды под пнями взрывают одновременно.

При размещении зарядов в шпурах, пробуренных непосредственно в древесине пней, величину зарядов определяют из расчета 0,75...1,00 кг аммонита на 1 м диаметра пня.

Шпуры бурят по оси пня вертикально или наклонно. В том и другом случаях дно шпура должно совпадать с осью пня, а глубина шпура должна быть равна двум диаметрам пня.

Общий расход взрывчатых и других материалов при корчевке пней и валке деревьев приведен в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Расход взрывчатых и других материалов при корчевке пней и валке деревьев

Диаметр пня, дерева, м	Расход			Диаметр пня, дерева, м	Расход		
	КД, шт.	ОШ, м	пенькового фитиля, м		КД, шт.	ОШ, м	пенькового фитиля, м
1	2	3	4	5	6	7	8
0,15	7,15	7,15	0,07	0,60	1,83	2,3	0,021
0,20	5,5	5,5	0,06	0,70	1,57	1,95	0,02
0,30	3,7	3,7	0,04	0,80	1,37	1,7	0,017
0,40	2,25	2,75	0,03	0,90	1,22	1,53	0,015
0,50	2	2	0,022	0,100	1,1	1,37	0,014

При производстве взрывных работ при корчевке пней необходимо соблюдать целый ряд специфических требований безопасности, основными из которых являются следующие.

Отдельно работающие на корчевке пней взрывники или бригады взрывников должны находиться друг от друга не ближе 500 м и точно знать места расположения и направления движения своих соседей.

Отдельные взрывники и бригады взрывников, работающие на корчевке пней и входящие в состав одного предприятия, могут располагаться на расстоянии не менее 300 м между собой при условии продвижения в одну и ту же сторону и при точном согласовании отхода в укрытие после поджигания зажигательных трубок.

Запрещается бурение (подкопка) пней при наличии в них подготовленных к взрыву зарядов.

При выполнении взрывных работ по корчевке пней, а также при валке деревьев огневом способом несколькими взрывниками старший взрывник до начала взрывных работ обязан указать направление движения каждому взрывнику.

Минимально допустимый радиус опасной зоны при корчевке пней равен 200 м.

6.3 Рыхление смерзшихся дров и других смерзшихся или слежавшихся материалов взрывным способом

Рыхление материалов взрывным способом производят в том случае, если они сильно слежались или смерзлись и разборка их другими способами становится затруднительной.

Взрывные работы ведут шпуровым методом, согласно проекту. Иницирование зарядов осуществляют при помощи ДШ с пиротехническими замедлителями или огневом способом. Допускается применение электродетонаторов, нечувствительных к блуждающим токам.

При взрывании смерзшихся дров (балансов и т.п.) для их рыхления разрешается применять только предохранительные ВВ. При этом обязательно выполнение следующих условий:

- а) применять только предохранительные ВВ;

б) использование в качестве средств инициирования электродетонаторов;

в) обеспечение безопасности передвижения взрывников по дровам (перекрытие провалов между штабелями и отвалами и др.);

г) осуществление, до начала заряжания, необходимых противопожарных мероприятий.

При рыхлении отходов лесоразработки (листьев, хвои и др.) и строительного мусора во время заряжания должно быть исключено даже случайное попадание в него ВВ.

При рыхлении материалов на железнодорожных платформах (вагонах) последние должны быть отведены в тупики на расстояние не менее 50 м от железнодорожных составов и зданий, а длина используемых зарядов не должна превышать $1/3$ длины шнура при диаметре последнего не более 42 мм.

Запрещается при рыхлении смерзшихся руды, угля, сланцев, рудных концентратов, металлической стружки и т.п. применять ВВ, содержащие жидкие нитроэфиры.

При рыхлении металлической стружки электрическое взрывание не разрешается. Рыхление пищевой соли может проводиться взрывным способом только с применением капсуль-детонаторов с бумажной гильзой. В качестве забоечного материала должен использоваться мелкоистолченный взрываемый материал, а при рыхлении металлической стружки - песок, глина.

Рыхление взрывом минеральных удобрений на основе аммиачной селитры не допускается. Ранее считалось, что, например, чистая аммиачная селитра не способна взрываться. В то же время она является не только носителем кислорода, но и взрывчатым веществом, т.к. включает в себя горючие элементы, которые способны при наличии мощного инициирующего импульса к химическим превращениям в форме детонации со скоростью 1500...3000 м/с. Игнорирование этого положения привело к

катастрофическим последствиям. На немецком заводе в Оппау в числе других продуктов производилась удобрительная смесь, состоящая из аммиачной селитры и сернокислого аммония. Завод работал круглый год, но смесь вывозилась в сельские районы только осенью. Готовый продукт ссыпали в заводские склады. При длительном хранении рыхлый порошок слеживался в сплошную каменнообразную массу. Для ее дробления применяли, естественно, взрывной способ. Предварительными обычными испытаниями установили, что смесь не взрывается. Было за всю историю завода около двух тысяч подрывов слежавшейся смеси, и вдруг при очередном подрыве, утром 21 сентября 1921 года, склад, а вместе с ним и весь завод взлетели в воздух. На месте взорвавшегося склада образовалось озеро длиной 165 м, шириной около 100 м и глубиной 20 м. Взрывом было убито 500 человек и много изувечено. Город был сильно разрушен.

6.4 Тушение лесных пожаров при помощи взрыва заряда ВВ

Взрывные технологии с целью тушения пожаров применяются в случаях, когда обычные средства пожаротушения оказываются неэффективными. Обычно это имеет место при тушении лесных пожаров.

При борьбе с лесными пожарами взрывы производятся для создания:

- опорных полос для отжига перед кромкой пожара, противопожарной валке деревьев и корчевке пней;
- в лесу заградительных канав и других противопожарных инженерных сооружений.

При выполнении взрывов по тушению или локализации лесных пожаров и проведении профилактических противопожарных мероприятий используют только ВВ и СИ, допущенные к применению в этих условиях.

На основании личного осмотра места пожара руководитель тушения проводит расстановку сил так, чтобы обеспечить локализацию головной части пожара, где скорость распространения огня наибольшая, или в местах, где огонь угрожает населенным пунктам либо ценным объектам.

При ликвидации лесных пожаров разрешается сбрасывать взрывчатые вещества и средства инициирования с самолетов или вертолетов при условии, что СИ упакованы в специальные контейнеры, предназначенные для этих целей, и при применении мер безопасности, утвержденных техническим руководителем организации, осуществляющей ликвидацию пожара.

Взрывные работы по локализации или тушению лесных пожаров необходимо выполнить путем прокладки опорных минерализованных полос перед фронтом огня, взрыванием серии шпурованных зарядов с глубиной шпуров до 0,7м, расположенных в линию с интервалом 2...5 м, или взрыванием наружных удлиненных зарядов.

Валка деревьев (создание противопожарных взрывов) для локализации верховых пожаров производится способами, изложенными в подразделе 6.1.

После остановки движения огня в головной части прокладываются опорные минерализованные полосы по флангам и при необходимости, с тыльной стороны пожара.

При прокладке опорных минерализованных полос шпуровым методом последовательно выполняют следующие операции: бурение шпуров, подноска к шпурам ВВ, заряджение шпуров и взрывание шпуровых зарядов, заброска грунтом растительности в перемычках между воронками взрывов. После подготовки шпуров непосредственный руководитель взрывных работ должен выделить каждой паре взрывников определенный участок, но не более чем 12 шпуров, и лично разделить участки красными флажками.

При прокладке опорных полос с применением наружных зарядов последовательно выполняются следующие работы: разноска зарядов по намеченной трассе; подготовка отрезков шланговых зарядов и раскладка их по намеченной линии; встряхивание шлангового заряда с целью соединения патронов; соединение отдельных элементов шланговых зарядов; присоединение к шланговому заряду зажигательной трубки и взрывание заряда.

Для создания заградительных полос при локализации лесных пожаров используются специальные шланговые заряды аммонита ПЖВ-20 (или Т-19, Ф-5, П-5) диаметром 36...38 мм и длиной 10 м в бухтах, уложенных в мешки. Располагаются такие заряды на поверхности земли. Время нахождения шланговых зарядов в воде не более 1 ч.

При тушении подземных (торфяных) пожаров необходимо прокладывать сплошные канавы, глубиной до минерального слоя или появления воды.

Взрывные работы по тушению такого пожара разрешается проводить не ближе 10 м от кромки пожара.

Взрывные технологии при борьбе с лесными пожарами должны выполняться в соответствии с требованиями инструкции по безопасному ведению взрывных работ при борьбе с лесными пожарами, согласованной с Госгорпромнадзором Украины.

Руководители взрывных технологий в подразделениях авиалесоохраны обязаны до начала пожароопасного сезона формировать в установленном порядке списки личного состава, привлекаемого к работам с ВМ. Для оказания помощи в проведении взрывов при тушении лесных пожаров могут привлекаться специалисты из других авиабаз. Хранение ВМ в авиаотделениях и местах производства взрываний может осуществляться в хранилищах складов ВМ, на временных площадках, в спецавтомобилях, в палатках, согласно требованиям «Единых правил безопасности при взрывных работах». Порядок доставки ВМ к местам работ воздушными судами осуществляется, согласно требованиям действующей «Инструкции...».

После доставки ВВ подносчики и другие лица, кроме взрывников, занятых заряджанием или монтажом взрывной сети, должны удалиться в укрытие за пределы опасной зоны.

После взрыва контрольной трубки взрывники обязаны немедленно удалиться за пределы опасной зоны, даже если остались незажженными зажигательные трубки зарядов ВВ.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких случаях применяют наружные заряды для валки деревьев?
2. Какие параметры определяют процесс валки деревьев наружными зарядами?
3. Какими параметрами характеризуется шпуровой метод валки деревьев?
4. Чем характеризуется технология корчевки пней?
5. Что такое «взрывной плантаж»?
6. Каковы условия применения ВВ для рыхления смерзшихся дров?
7. Почему запрещается рыхление взрывом минеральных удобрений?
8. В каких случаях применяют взрывание при тушении пожаров?
9. Перечислите основные способы тушения лесных пожаров взрывом.

Глава 8

НОВЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

8.1 Взрывные генераторы давления

8.1.1 Основные принципы работы

Взрывные генераторы давления (ВГД) многоразового действия с локализацией продуктов взрыва относятся к новой группе взрывных технологий, где заряд ВВ используется в качестве энергоносителя, подобно горючему в двигателе внутреннего сгорания. Эти установки, образно называемые «двигателями внутреннего взрывания», уже нашли широкое применение в технике и, безусловно, имеют большое будущее.

Основным условием применения бризантных ВВ в качестве энергоносителя в установках, преобразующих энергию взрыва в энергию движения, выполняющего работу инструмента, является так называемая «растяжка» импульса давления, т.е. значительное увеличение его длительности с одновременным уменьшением давления на фронте до уровня, при котором обеспечивается прочность рабочего органа установки.

Существует несколько способов растяжки импульса давления. Известный способ растяжки импульса во времени с помощью крешеров, применяемый при обычных копровых испытаниях, может быть успешно применен и при использовании энергии взрыва ВВ. Принципиальная схема такого взрывного нагружающего устройства представлена на рис. 8.1.

Для формирования ударного импульса трапецеидальной формы динамическая диаграмма сжатия демпфера должна соответствовать идеальному упругопластическому телу. Из реальных материалов близкой по форме диаграммой динамического сжатия обладают некоторые пористые вещества и трубчатые крешеры.

Для аммонита бЖВ КПД взрывного устройства равен 16%.

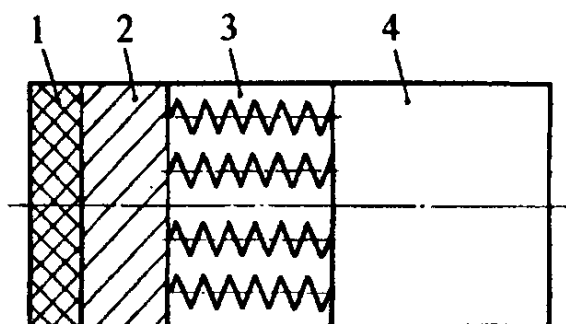


Рис. 8.1 Принципиальная схема взрывного устройства для формирования механического импульса с заданными параметрами:

1 – заряд ВВ; 2 – ударник; 3 – демпфер; 4 – объект испытаний

8.1.2 Некоторые промышленные установки, построенные на базе ВГД

8.1.2.1 Взрывная установка для резки («гильотина»). Эта установка применяется для фрагментации с целью дальнейшей утилизации таких объемных конструкций (различные летательные аппараты и пр.), для резки которых применение, например, удлиненных кумулятивных зарядов (УКЗ) является чересчур дорогой операцией. В этой установке рабочим механизмом является «нож». Установка работает по принципу гильотины.

При разделке материалов и конструкций с целью их утилизации, а также при проведении ремонтных работ особое место занимают работы с объемными металлоконструкциями, скомпонованными из сравнительно тонкостенных элементов. Крыло самолета – пример конструкции, которая имеет сравнительно тонкую оболочку, подкрепленную изнутри тонкостенными элементами, пронизывающими внутренний объем.

Разделка объемных конструкций традиционными методами (газовая и плазменная резка и т.п.) малоэффективна, так как требует больших энергетических, трудовых и временных затрат. Разборка подобных конструкций ограниченной толщины на больших гильотинных ножницах возможна только в условиях стационарной разделочной площадки, имеющей хорошее энергообеспечение, так как рабочий механизм больших гильотинных ножниц имеет электрический привод с большим потреблением

электроэнергии. Ножницы имеют также большие массу и габаритные размеры, что затрудняет их транспортировку.

На аэродромах накопилось большое количество отслуживших свой срок самолетов, разделка которых может дать промышленности значительное количество алюминия, титана и других ценных металлов и сплавов. Эту задачу позволит решить взрывная гильотина – установка взрывного типа, рабочий инструмент которой – нож из высокопрочной стали приводится в действие давлением продуктов взрыва заряда ВВ, подрываемого в неразрушаемой камере. Большая удельная энергоемкость ВВ, возможность с помощью ВГД преобразовать энергию взрыва в кинетическую энергию ножа делают режущую установку при высоких рабочих характеристиках более простой по конструкции и с меньшей энергоемкостью по сравнению с установками, использующими традиционные источники энергии.

Разработана конструкция промышленной взрывной гильотины, предназначенной для разделки крупных самолетов. Схема установки для разрезки конструкций приведена на рис. 8.2.

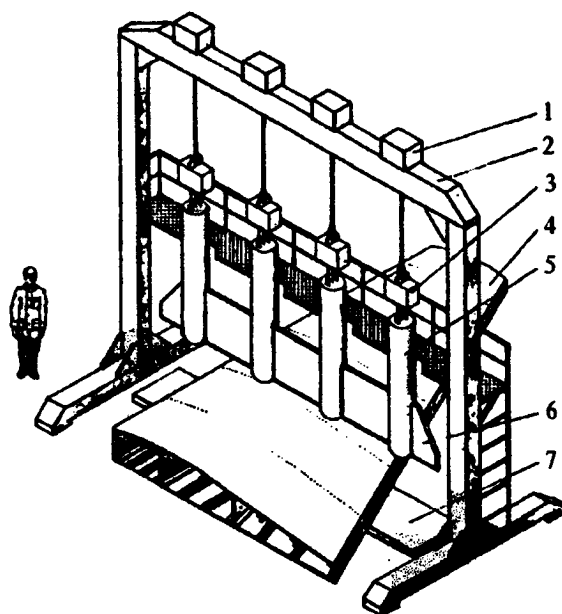


Рис. 8.2 Установка взрывной резки:
1 – рама; 2 – взрывная камера; 3 – нож; 4 – подъемник-демпфер;
5 – балансирный подвес; 6 – плита; 7 – крыло самолета

Низкие эксплуатационные расходы (небольшая масса, сравнительная дешевизна применяемого ВВ, высокая производительность установки) позволят при разделке большого числа самолетов или подобных им конструкций быстро окупить сравнительно большие затраты на разработку и изготовление промышленного образца взрывной гильотины.

8.1.2.2 Установка для фрагментации крупногабаритных автомобильных шин. Изношенные автомобильные шины являются ценным сырьем, содержащим каучук и другие материалы, хорошо сохранившиеся в количественном и качественном отношении, которые можно вернуть в сырьевой баланс резиновой промышленности. Однако крупногабаритные шины для большегрузных автомобилей и сельскохозяйственных машин, содержащие максимальное количество полезного каучукодержащего сырья, не возвращаются для переработки из-за отсутствия технологического оборудования для резки.

По оценкам НИИ шинной промышленности, ежегодно накапливается 50 тыс. тонн изношенных крупногабаритных шин – общие запасы этого вида сырья оцениваются в 1 млн. тонн. При этом изношенные крупногабаритные шины накапливаются концентрированно на нескольких рудодобывающих и горно-обогатительных комбинатах, где проблема переработки шин имеет не только экономическое, но и большое экологическое значение.

Поскольку места накопления весьма отдалены от шиноперерабатывающих производств, ставится задача переработки на месте изношенных крупногабаритных шин массой 1,5...3,5 т на куски массой – 50 кг, что позволит рационально организовать вывоз и дальнейшую переработку сырья.

Этим требованиям отвечает скоростной стенд для резки крупногабаритных шин, схема которого приведена на рис. 8.3.

Резка крупногабаритных шин на части производится за одно срабатывание стенда. Это достигается за счет высокой скорости, специально подобранной формы и материала лезвий резака. Источником энергии для

разгона резака является взрыв промышленного ВВ типа аммонита, используемого обычно при вскрышных работах в горно-рудной промышленности. Локализация продуктов взрыва в неразрушаемой камере и разрезаемой шины на стенде обеспечивает отсутствие осколков, ударно-волновых воздействий и экологическую чистоту при работе стенда.

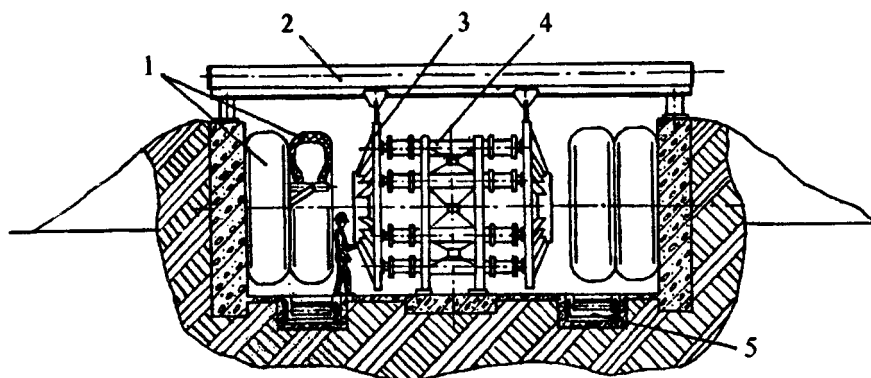


Рис. 8.3 Схема взрывного стенда для резки крупногабаритных шин:
1 – разрезаемые покрышки большегрузных автомобилей; 2 – грузовая балка;
3 – ножи; 4 – взрывной генератор давления; 5 – транспортер

Лезвия расположены радиально и по окружности резака, общая длина режущих кромок – 35 м, масса 1 т, начальная скорость 50 м/с. За одно срабатывание стенда разрезаются две шины на 60...70 частей каждая. На одно срабатывание требуется 0,5 кг ВВ. Внешних источников энергии непосредственно для резки не требуется. Габаритные размеры стенда 4х4х5 м, масса – 18 т, обслуживающий персонал 2 человека.

Достоинством предлагаемого стенда является его мобильность, основные узлы (разгонные камеры на раме с опорной плитой и режущий модуль) транспортируются на трейлерах (автомобилях).

На месте проведения работ необходимо строительство опорных стен в грунте (монолитных или блочных) и установка типового подъемно-транспортного оборудования для установки шин, сброса и погрузки переработанного материала.

Безопасность работы стенда обеспечивается непосредственно конструкцией, регламентом операций, минимальным количеством ВВ в камере, применением исполнительного механизма с несколькими ступенями

предохранения. В качестве ВВ применяется патронированный аммонит с безопасной системой инициирования.

8.2 Образование искусственных алмазов детонацией ВВ

Уникальные свойства алмаза с незапамятных времен сделали его одним из самых известных материалов на Земле. Хорошо известна его ювелирная ценность. Не менее известным является использование алмазов в промышленности. Применение алмазного инструмента, например, существенно повышает чистоту обработки деталей, а производительность труда возрастает при этом на 50%. Основные области применения технических алмазов – обрабатывающая и горная промышленность. В сравнительно недавнее время алмазы нашли широкое применение в электронной технике. Абразивные алмазные порошки наносятся на дисковые пилы, напильники, фрезерный инструмент, сверла, буровые коронки. Шлифовальные алмазные порошки применяются для тонкой доводки поверхностей различных изделий, в том числе и ювелирных камней на гранильных фабриках. Алмазные фильеры используются при протягивании тонкой проволоки. Алмазы незаменимы как детали электронных приборов, работающих в экстремальных условиях: при низких и высоких температурах, в сильных электромагнитных полях, потоках ионизирующих излучений, агрессивных средах и т.п. В частности, алмазы широко используются как детекторы ядерных излучений, термометры, работающие при облучении нейтронными потоками, теплоотводы, полупроводники и т.п.

Все это явилось стимулом для многочисленных попыток синтезировать алмазы в лабораторных условиях. Синтез алмазов в детонационной волне был впервые осуществлен в Швеции (1953 г.), США (1954 г.) и бывшем СССР (1959 г.).

Рынок синтетических алмазов постоянно растет и составляет в настоящее время, по оценкам различных специалистов, 300...600 млн. карат

(60...120 т) в год. Отсюда очевидна актуальность совершенствования технологий массового производства синтетических алмазов.

Техника взрывного синтезирования алмазов заключается в том, что ромбоэдрический графит подвергается ударно-волновому нагружению. При взрыве развиваются высокие температуры и давления, соответствующие области устойчивого существования графита. При быстром расширении и охлаждении продуктов взрыва происходит закаливание этих модификаций. Конечно, из-за малого времени взрыва получить крупные кристаллы сверхтвердых материалов таким методом невозможно, и размер их частиц обычно не превышает 0,01 мм.

Минимальное значение давления, необходимое для получения алмаза, составляет 12,5 ГПа. Установлено, что при этом давлении «выход» алмазов составляет ~ 1% от массы графита, а размер частиц ~ 1 мкм. Большое влияние оказывает начальная плотность используемого графитового порошка. Чем меньше плотность нагружаемых УВ брикетов графита, тем больше его температура при ударном сжатии. Это вызывает обратный переход алмаза в графит при последующем за сжатием снятии давления («разгрузке»). Для быстрого выравнивания температуры, т.е. для снижения эффекта обратного перехода алмаза в графит, к порошку графита добавляют материал, имеющий небольшую температуру ударного сжатия (медь, никель и т.п.). При этом «выход» алмазов достигает 20%. Для увеличения времени действия ударного импульса на графит или его смесь с металлами применяют различные схемы взрывного нагружения. Простейшее нагружающее устройство состоит из металлической пластинки-ударника, разгоняемой продуктами детонации плоского заряда ВВ, которая ударяет по матрице с нагружаемым образцом графита. Возможности этого метода ограничены эффективностью системы «ВВ-пластина», связанной с низким коэффициентом превращения химической энергии ВВ в кинетическую энергию ударника. Создание необходимого давления требует увеличения скорости пластины, что в свою очередь требует уменьшения ее толщины (Δ)

до нескольких миллиметров, а это значительно ограничивает длительность нагружения (τ), которая составляет $\sim 10^{-6}$ с (время нагружения определяется величиной $\tau = 2\Delta/c$, где c – скорость звука в пластине). Существенное (примерно на порядок) увеличение длительности достигается при использовании цилиндрических зарядов, внутри которых по их оси располагается труба с графитовым порошком. На практике применяются заряды ВВ диаметром ~ 1 м и высотой 4...5 м. При такой технологии выход алмазов достигает 80%, а размеры частиц – 1...100 мкм. Очевидно, что возможности проведения таких взрываний весьма ограничены.

С помощью метода рентгеноструктурного анализа установлено, что распределение частиц алмазов по размерам носит немонотонный характер с максимумом при 3...4 нм. Показано, что при изменении массы зарядов ВВ на порядок размеры ультрадисперсных алмазов (УДА) кубической модификации практически не меняются и находятся в указанном выше диапазоне. Следует отметить, что при взрыве больших зарядов ВВ (более 100 кг) обнаружен лондсдейлит (гексагональный алмаз), содержание которого составляет несколько процентов от общей массы УДА.

В 70-х годах XX столетия интенсивно начала развиваться техника получения искусственных «взрывных» алмазов – их синтез непосредственно при детонации твердых ВВ. Взрывчатое превращение – детонация распространяется по ВВ в виде УВ (называемой детонационной), на фронте которой происходит практически мгновенное выделение громадной энергии за счет разрыва химических связей ВВ. Скорость детонационной волны в мощных твердых ВВ составляет 7...8 км/с. Параметры детонационной волны ($P \approx 20...30$ ГПа, температура $T \cong 3000...4000$ К) соответствуют области стабильности алмаза. В составе образующихся при детонации ряда ВВ газов (продуктов взрыва) содержится значительное количество свободного углерода. Так, для ВВ, представляющих смесь тротила и гексогена (это достаточно мощные ВВ, используемые для снаряжения боеприпасов), содержание углерода составляет от 7 до 15% в зависимости от содержания

компонентов. Поэтому при взрыве и происходит образование алмазоподобной фазы углерода. Для сохранения образовавшейся фазы необходимо предотвратить ее окисление, а также графитизацию (обратный переход алмаза в графит) при разлете продуктов взрыва в окружающую среду. Это обычно достигается охлаждением продуктов взрыва при их локализации в прочных замкнутых сосудах, сохраняющихся при взрыве в них заряда ВВ. Схема получения таких алмазов представлена на рис. 8.4.

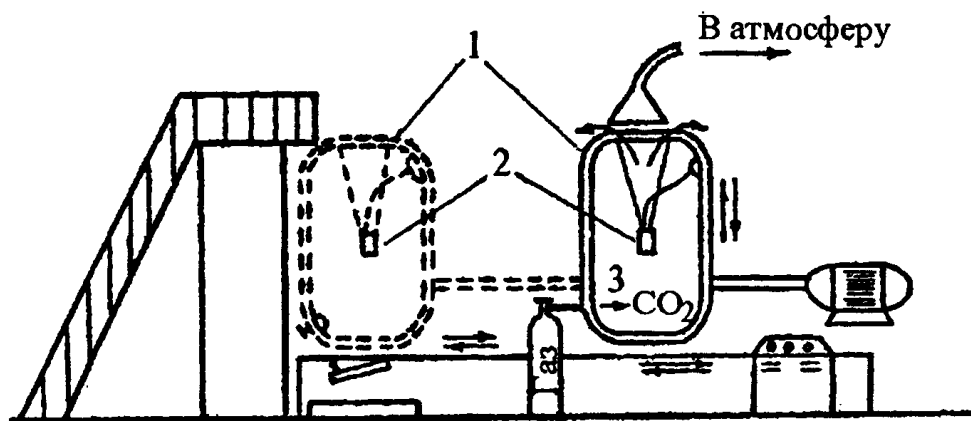


Рис. 8.4 Схема получения детонационных алмазов:

1 – взрывная камера; 2 – заряд; 3 – охлаждающая среда

Внутри прочной взрывной камеры 1 размещается заряд 2. В качестве охлаждающей среды 3 используются либо водяная оболочка, либо инертный газ, например, углекислый газ, азот, либо продукты взрыва предыдущего заряда. На практике основные параметры такой схемы варьируются в широких пределах: внутренний диаметр камеры 0,65...12,0 м, масса ВВ 0,1...40 кг.

Из оставшегося после взрыва твердого остатка путем механической и химической очистки выделяется алмазоподобная фаза углерода.

Детонационные алмазы являются примером особого состояния твердых тел – ультрадисперсной среды, которая характеризуется настолько малыми размерами морфологических элементов (частиц кристаллов, зерен, пор и др.), что они соизмеримы с одной или несколькими фундаментальными физическими величинами этого вещества (протяженность дислокации, длина

свободного пробега электронов и т.п.). Исследования таких ультрадисперсных сред широко развиваются в последнее десятилетие. Это новое научно-техническое направление: «наночастицы, материалы, технологии и устройства» является в промышленно развитых странах одним из самых быстрорастущих по объему финансирования: уже в 1997-1998 финансовом году на эту область науки и техники во всем мире (без учета России) выделено около 500 млн. долл. США.

Таким образом, порошок ультрадисперсных алмазов, синтезируемый при детонации ВВ, может быть достаточно просто (также с помощью взрыва) «переделан» в макрочастицы, пригодные для изготовления разнообразного инструмента. Введение легирующих добавок при компактировании алмазного порошка позволяет придавать ему полупроводниковые свойства. И наконец, блестящие частицы размерам ~ 1 мкм – это уже материал для украшений.

8.3 Взрывное рисование и гравирование

Да, взрыв рисует и рисует хорошо, если взрывник (а он должен быть немного художником) имеет в своей палитре набор специальных ВВ, способных устойчиво детонировать в очень тонком слое. Напомним, что каждый вид ВВ характеризуется критической толщиной такого слоя. При меньшей толщине взрывчатое превращение в слое ВВ не происходит. Для разных ВВ эта величина может отличаться на несколько порядков: от нескольких сантиметров до сотых долей миллиметра. Именно нижняя граница диапазона и является необходимым условием для взрывной живописи. Роль холста при этом выполняют пластины из различных металлов и сплавов. Импульсное давление на поверхности металлической пластинки при детонации слоя ВВ составляет ~ 10 ГПа, что значительно превышает динамический предел текучести применяемых металлов, т.е. позволяет получать на пластине отпечатки с четкими границами, разделяющими области с разным уровнем давления.

Очевидно, что при подрыве на металлической пластине сравнительно толстого слоя ВВ (сантиметры, миллиметры) от нее практически ничего не остается. А рисовать, т.е. оставлять отпечатки на поверхности пластины не разрушая ее, может детонация только очень тонких слоев ВВ. К числу ВВ, способных детонировать в очень тонких слоях, относятся пластические составы на основе мелкодисперсного тэна и многие жидкие взрывчатые смеси. Поэтому самым простым способом создания художественных отпечатков является изготовление из тонкого слоя ВВ своеобразного клише, которое подрывается на металлической пластине (глубина отпечатка варьируется за счет изменения толщины слоя). Для примера на рис. 8.5 приведена фотография части медной плиты (вывески) с «выбитым» текстом названия одной из фирм. «Взрывающиеся» буквы были вырезаны из слоя пластического ВВ толщиной 0,5 мм.



Рис. 8.5 Фотография части медной плиты с «выбитыми» буквами

При использовании жидких ВВ для создания изображения делается, например, из пластилина необходимая форма, куда заливается взрывчатая жидкость.

Для создания более сложных рисунков взрывник размещает различные тонкие прокладки (трафареты) из инертных материалов между слоем ВВ и гравированной (металлической) пластинкой. Роль прокладок – влиять на импульсное давление – давление взрыва передается через отверстие трафарета лучше, чем через его материал. Так возникает рисунок на металле. При детонации тонкого слоя ВВ время действия импульса давления очень мало. По порядку величины оно равно толщине слоя (доли миллиметра), деленной на скорость распространения детонации (нескольких километров в секунду), т.е. $\sim 10^{-7} \dots 10^{-8}$ с. При таких параметрах давление на

металлической пластине сильно зависит от толщины слоя ВВ и плотности прокладки. В опытах с прокладками давление на поверхности металлической пластины быстро реагирует на мельчайшие изменения плотности (или толщины) прокладки. Таким образом, отпечаток на поверхности пластины в деталях отображает мельчайшие структурные изменения в прокладке. Так, при использовании в качестве прокладки обычного древесного листа получается его детальная структурная «фотография» (рис. 8.6).

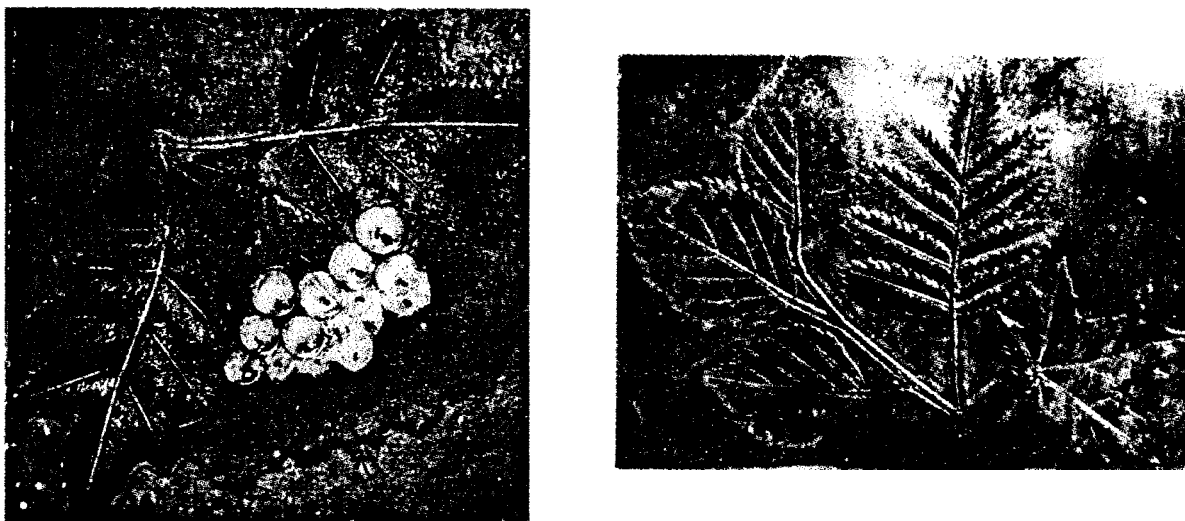


Рис. 8.6 «Взрывной» отпечаток структуры древесного листа

Специально создавая такую «разноплотную» композицию: пластилин, клей, различные проволочки, ткань, можно получать взрывные картины произвольного содержания. Наконец, лист бумаги с жирно напечатанными буквами дает возможность получать клише для печати.

Взрывное гравирование может применяться не только для ювелирных изделий и предметов изобразительного искусства, но и в промышленности, например, для изготовления печатных матриц.

По-видимому, впервые взрывом был сделан в 1964 г. на плите из алюминия портрет Ю.Б. Харитона в связи с его 60-летием. На поверхность металла был наложен тонкий слой пластилина, а сверху фотография Юлия Борисовича. Затем по контуру профиля пластилин был прорезан и внешняя часть пластилина удалена. По периметру пластины был нанесен бортик. Пластину расположили строго горизонтально и в образованное корытце

налили тонкий слой жидкого ВВ. После того, как его подорвали, на металле пропечатался профиль Юлия Борисовича.

8.4 Взрывные технологии в космосе и на других планетах

Развитие космических полетов, достигнутое в последние десятилетия, в основном за счет достижений отечественных и американских ученых, находятся в настоящее время в такой стадии, когда может быть поставлена задача о применении взрывов для проведения различных работ в космосе и на поверхности других планет. Использование энергии взрыва в космосе имеет то существенное преимущество по сравнению с другими видами механизации работ, что многие действия могут быть осуществлены с минимумом средств и при малой массе используемых устройств. Особенно перспективно применение в космосе взрыва для сварки металлических деталей – стержней и листов металла. Следует подчеркнуть, что в вакууме космического пространства избыточное давление взрывных волн, обусловлено только действием взрывных газов. Давление окружающей среды равно нулю. В этих условиях избыточное давление взрывной волны, согласно формуле Садовского, равно:

$$\Delta P_{\delta} = 7 \frac{q}{R^3}, \quad (8.1)$$

где избыточное давление, как обычно, выражено в килограммах

на квадратный сантиметр, масса тротилового заряда q в килограммах и расстояние R в метрах.

Графически эта зависимость приведена на рис. 8.7.

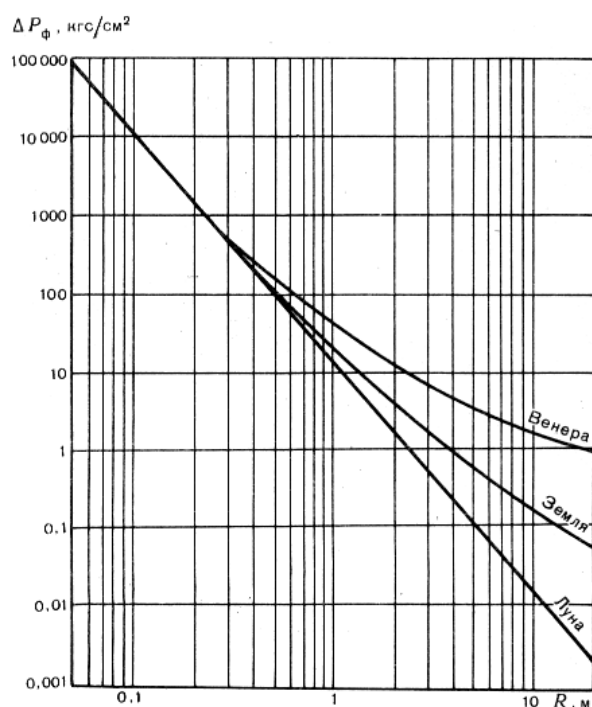


Рис. 8.7 Зависимость избыточного давления на фронте воздушной ударной волны ΔP_ϕ от расстояния R для различных небесных тел; масса заряда $q = 1$ кг

Значение ΔP_ϕ , определяемое по приведенной формуле (8.1), значительно меньше, чем в воздухе, особенно при больших значениях R . Это делает применение взрыва в космосе значительно удобнее и безопаснее, чем на Земле. В настоящее время созданы пластичные и эластичные взрывчатые материалы, из которых можно изготавливать заряды любой формы (шнуры, ленты, листы, пленки, прутики и т.п.) с критическим диаметром менее 0,5 мм. Разработанные на их основе бортовые системы детонационной автоматики ракетно-космических комплексов обеспечивают с высокой степенью надежности в автономном режиме мгновенное разделение элементов конструкции, разрезание электрических кабелей, отстрел парашютов, пробой мембран, запуск

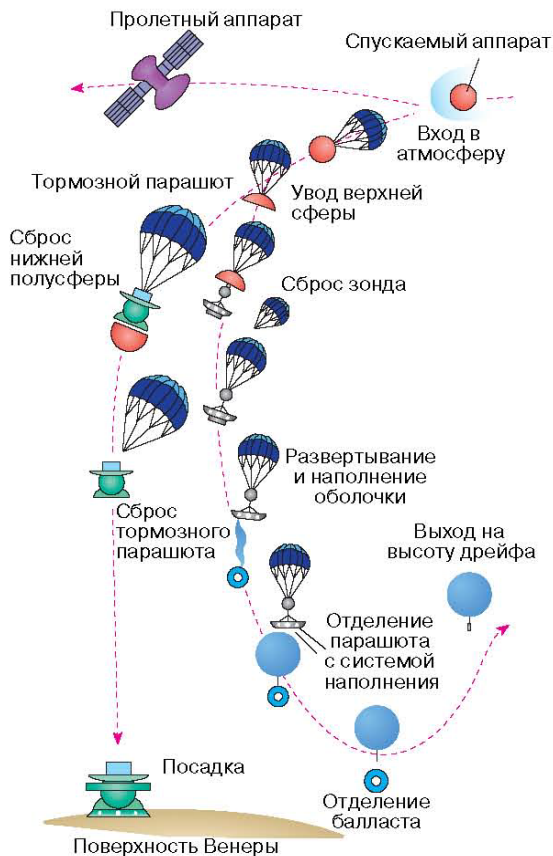


Рис. 8.8 Схема создания аэростатных зондов космическими станциями «Вега»

внешним воздействиям, даже к мощным электромагнитным полям и ионизирующей радиации. Такие системы детонационной автоматики успешно использовались в космических аппаратах типа «Венера», «Марс», «Фобос», а также на автоматических станциях «Вега-1» и «Вега-2» международного научного проекта «Венера – комета Галлея» в 1985 году для формирования аэростатных зондов в атмосфере Венеры (рис. 8.8).

Взрывные технологии американские исследователи применили для зондирования глубинных слоев Луны во время одной из экспедиций на космическом корабле «Аполлон».

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое «взрывной генератор давления» (ВГД)?
2. Принцип работы и назначение ВГД.
3. Опишите конструкции промышленных установок ВГД.
4. Изложите суть способа образования искусственных алмазов детонацией ВВ.

приборов и т.д. Эти пространственные высокоточные системы являются неразрушаемыми и безосколочными. Они безопасны и герметичны, при функционировании не выпускают продукты взрыва и не повреждают элементы и научную аппаратуру космического аппарата. В отличие от электронных систем автоматического управления детонационная автоматика обладает повышенной устойчивостью к

5. Опишите схему получения детонационных алмазов.
6. Изложите суть способа «взрыв рисует» и «взрыв гравировет».
7. Приведите примеры применения взрыва для создания изображения.
8. Для каких целей взрывные технологии используются в космосе и на других планетах?
 9. В чем состоят особенности метода расчета избыточного давления взрывной волны в космосе?
 10. Приведите примеры практического использования взрывных технологий на Луне и Венере.

Перечень использованных источников

- Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. – М.: Физматгиз, 1959. – 799 с.
- Баторин В.Д., Мокшенков М.М., Фокеев С.М. Ликвидация аварийного газового фонтана на Урта-Булакском месторождении ядерным взрывом // Атом. – 1994. – № 1. – С. 28-30.
- Бокштейн Б.С. Диффузия в металлах. – М.: Металлургия, 1978. – 248 с.
- Геодинамическое картирование: методы и аппаратура. Алехин В.И., Аноприенко А.Я., Анциферов А.В. и др. – Донецк: ДонНТУ, Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2007. – 144 с.
- Гейман Л.М. Взрывная технология. – М.: Знание, 1973.
- Деклараційний патент 42339А. Україна, МПК F21 J 37/00. Спосіб руйнування твердих матеріалів / Макаров А.А., Шевцов М.Р., Сірацьов І.Ж. - Заявл. 16.01.01; Опубл. 15.10.01. – Бюл. № 9.
- Единые правила безопасности при взрывных работах. – К.: Норматив, 1992, - 172 с.
- Ефремов Э.И., Вовк. Справочник по взрывным работам. – К.: Наукова Думка, 1983. – 327 с.
- Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. – М.: Наука, 1966.
- Інструкція з безпечного проведення підричних робіт на металургійних підприємствах Міністерства промисловості України: ДНАОП 1.2.00–5.01-96: Утв. наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці 19.04.96 НДІБПГ. – Кривий Ріг, 1997. – 27 с.
- Инструкция по выбору способа параметров разупрочнения кровли на выемочных участках: Согл. Госгортехнадзором СССР 16.10.81 и ЦК профсоюза рабочих угольной промышленности 29.09.81; Утв. Министерством угольной промышленности СССР 18.11.81. – Л.: ВНИМИ, 1982. – 165 с.
- Инструкция по определению сейсмобезопасных расстояний при рыхлении грунтов взрывным способом в районах-новостройках города Москвы: Утв. Управлением Московского городского округа Госгортехнадзора СССР 24.09.74 и зам. начальника Главмосстроя 15.11.74. – М.; 1974. – 9 с.
- Иволгин А.И. Созидательные взрывы. – М.: Недра, 1975. – 304 с.
- История Донецкого шахтостроя XX века / В.В. Белый, А.С. Шульга, И.М. Беркович, Г.М. Цурпал: 2-е изд. доп. и испр. – Донецк: ООО «Юнипресс», 2003. – 433 с.
- Иванов А.Г., Раевский В.А., Воронцова О.С. Дробление материала при взрыве // Физика горения и взрыва. – 1995. – Т. 31. - № 2. – С. 96-101.
- Иващев В.А. Техника безопасности при буровзрывных работах на металлургических заводах. – К.: Техника, 1979. – 128 с.

Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. Взрывные технологии в промышленности: Учебник для вузов. – М.: Изд. МГГУ, 1994. – 446 с.

Кудинов В.М., Коротеев А.Я., Волгин Л.А. Опыт применения подводной резки взрывом при демонтаже трубчатых оснований морских стационарных платформ // Автоматическая сварка. – 1987. – № 6. – С. 27-29.

Коул Р. Подводные взрывы. – М.: Изд-во иностранной лит., 1950.

Калякин С.А., Шевцов Н.Р. Влияние условий гидровзрывания на энергетические показатели и работоспособность взрывчатых веществ // Проблемы горного давления. – Донецк: ДонНТУ. – 2002. – № 8. – С. 116-144.

Левит В.В., Рублева О.И. Исследование условий интенсификации процесса разрушения горных пород взрывом при проходке вертикальных шахтных стволов // Вісті Донецького гірничого інституту. - Донецьк: ДонНТУ, 2007. - № 1. – С. 15-26.

Левит В.В., Рублева О.И. Модель буровзрывной технологии проходки вертикальных шахтных стволов // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. - Донецьк: ДонНТУ, 2007. - Вип. 6 (125). – С. 75-85.

Левит В.В., Пилипец В.И. Сооружение стволов бурением: Учеб. пособие. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 286 с.

Лейпунский О.И. К истории возникновения мировой промышленности синтетических алмазов, получаемых в условиях их термодинамической устойчивости // Вопросы современной экспериментальной и теоретической физики. – Л.: Наука, 1984. – С. 68-77.

Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.

Лин Э.Э., Сиренко А.В., Фунтиков А.И. Экспериментальное изучение расширения продуктов взрыва листового заряда в камере // Физика горения и взрыва. – 1980. – № 4. – С. 44-56.

Лобков А.М., Рабинович И.И. Сбор нефти и газа. – Баку-Ленинград: Азнефтеиздат, 1950. – 252 с.

Мамиконянц Г.М. Тушение пожаров и мощных газовых и нефтяных фонтанов водяными струями и при помощи взрыва заряда ВВ. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 72 с.

Мандриков А.П. Примеры расчета железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1989. – 506 с.

Мельников Н.В., Марченко Л.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда. – М.: Недра, 1964. – 138 с.

Новиков С.А., Мешков Е.Е. Взрыв рисует // Атом. – 1969. - № 3.

Новиков С.А. Полезные взрывы. - Саратов: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000. – 293 с.

Новиков С.А., Петров В.А., Багрянов Б.В. Установка взрывного типа для создания инерционных перегрузок // Проблемы прочности. – 1982. – № 2. – С. 97-100.

Новиков С.А., Сеницын В.А., Иванов А.Г., Васильев Л.В. Упругопластические свойства ряда металлов при взрывном нагружении // Физика металлов и металловедение. – 1966. – Т. 21. – Вып. 3. – С. 452-460.

Патент України на винахід № 82396; МПК E21 d 1/00, E21 f 15/00, E 21 в 33/16. Пристрій для ізоляції ліквідованого вертикального стовбуру шахти від земної поверхні та спосіб його спорудження / Борзих А.П., Фомін В.О. № а 200603042; Заявл. 21.03.06; Опубл. 10.04.08. – Бюл. № 7.

Пилипець В.І., Тулуб Є.В., Левіт В.В. / За заг. ред. В.І. Пилипця. Буріння стволів шахт та технічних свердловин: Підручник для ВУЗів. – Донецьк: Норд-Пресс, 2009. – 279 с.

Покровский Г.И. Взрыв: 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 190 с.

Процессы обработки металлов взрывом: Учебн. пос. для вузов / А.В. Куприн, С.Н. Калюжин, Е.У. Атабеков и др. – М.: Металлургия, 1996. – 336 с.

Попов Л.Н. Строительные материалы и детали: Учебник для техникумов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 336 с.

Практикум по взрывному делу: Учебное пособие / Н.Р. Шевцов, С.А. Калякин, В.В. Левит и др. / Под общ. ред. проф. Н.Р. Шевцова. – Севастополь: «Вебер», 2004. – 95 с.

Рублева О.И. Теоретическое и экспериментальное исследование действия взрыва заряда в породной оболочке с инертными промежутками между патронами ВВ//Зб. Наукових праць ДонНТУ «Проблеми гірського тиску». Вип.15/ Під аг. Ред.. О.А. Мінаєва. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – С. 226-253.

Селиванов В.В., Кобылкин И.Ф., Новиков С.А. Взрывные технологии: Ученик для ВУЗов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2008. – 648 с.

Сборник нормативних документів по взрывным работам в угольных шахтах: КД 12.01.1201-99: Утв.: Первым зам. Министра угольной промышленности Украины 22.11.99 и Председателем Госнадзорохрантруда Украины 31.12.99. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 2000. – 240 с.

Справочник взрывника/Б.Н. Кутузов, В.М. Скоробогатов, И.Е. Ефремов и др./ Под общей ред. Б.Н. Кутузов. - М.: Недра, 1988. – 511 с.

Ставер А.М., Лямкин А.И. Получение ультрадисперсных алмазов при детонационном синтезе // Ультрадисперсные алмазы. Получение и свойства / Под ред. А.М. Ставера. – Красноярск. – 1990. – С. 3-22.

Титов В.М., Анисичкин В.Ф., Мальков Ю.И. Исследование процесса синтеза ультрадисперсных алмазов в детонационных волнах // Физика горения и взрыва. – 1989. – Т. 25. – № 3. – С. 117-122.

Трунин Р.Ф. Сжимаемость металлов при высоких давлениях ударных волн // Высокие плотности энергии. – Саратов: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1997. – С. 253-270.

Українсько-російсько-англійський термінологічний словник з гірничовибухової справи / Уклад. В.В. Соболев, В.М. Мандрікевич, М.В.

Орел, Л.С. Шломіна. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2004. – 245 с.

Ушеренко С.И. Сверхглубокое проникновение частиц в преграды и создание композиционных материалов. – Минск: НИИ ИПСОП, 1998. – 210 с.

Фридман Я.Б., Механические свойства металлов. – М.: Оборонгиз, 1952. – 556 с.

Целинский И.В. Применение высокоэнергетических материалов в технике и народном хозяйстве // Соровский образовательный журнал. – 1997. - № 1. – С. 46-52.

Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: Підручник для ВУЗів. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.

Шевцов М.Р., Таранов П.Я., Левит В.В., Гудзь О.Г. / Під заг. ред. М.Р. Шевцова. Руйнування гірських порід вибухом: Підручник для вузів. – 4-е видання перероб. і доп. – Донецьк: ТОВ «Лебідь», 2003. – 272 с.

Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок: Учебн. пос. для вузов. – Донецк: «Норд-Пресс», 2002. – 280 с.

Шевцов Н.Р., Лабинский К.Н., Калякин С.А. Основы теории гидровзрывания при разрушении пород // Проблемы горного давления. – Донецк: ДонНТУ. – 2002. – № 7. – С. 59-85.

Шевцов Н.Р., Макаров А.А. Новые буровзрывные технологии валки зданий и сооружений шахт // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник Отраслевого отделения «Строительство шахт, рудников и подземных сооружений» Академии строительства Украины. Вып. 2. – Донецк: Норд-Пресс. – 2002. – С. 40-50.

Шевцов Н.Р., Фам Ван Лан. Установление аналитической зависимости для определения длины забойки при камуфлетном взрывании // Известия горного института. – 1999. – № 1. – С. 24-28.

Шевцов Н.Р., Фам Ван Лан. Обоснование параметров буровзрывной технологии строительства подземных сооружений открытым способом // Развитие теории и практики взрывного дела: Сб. «Взрывное дело», № 91/48. – М.: АРГО. – 2000. – С. 238-244.

Шевцов Н.Р., Хоменчук О.В. Взрывной способ набрызгбетонирования // Сборник научных трудов НГУ № 17, том 2. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – с.43-49.

Шевцов Н.Р., Хоменчук О.В. Взрывной способ набрызгбетонирования и побелки горных выработок // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. – Донецк: Норд-пресс, 2003. – Вып. 3. – С. 164-169.

Шевцов Н.Р., Левит В.В., Лысиков Б.А. История становления, достижений и перспектив развития кафедры «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого национального технического университета. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк: Нор-Пресс, 2009. – 242 с.

Юшко А.С., Е.Л. Серик. Бурение геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1976. – 288 с.

Юшко А.С. Бурение скважин в угольных шахтах. – К.: Техніка, 1982. – 143 с.

Ярембаш И.Ф. Очистка рудничной атмосферы после взрывных работ.
– М.: Недра, 1979. – 191 с.