

Кафедра «Строительство зданий, подземных сооружений и геомеханика»

Конспект лекций по  
ДИСЦИПЛИНЕ

***«ВЗРЫВНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ И  
СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ»***

Составители: доц. Рублева О.И.

Донецк-2024

КАФЕДРА «СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ, ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
И ГЕОМЕХАНИКА»

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ»**

для студентов уровня профессионального обучения  
«специалист» по специальности  
21.05.04 «Горное дело»,  
специализация «Взрывное дело» всех форм обучения

РАССМОТРЕНО

на заседании кафедры СЗПСиГ

Протокол № 9 от 22.02.2024 г.

Донецк, 2024 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 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.

## 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.).

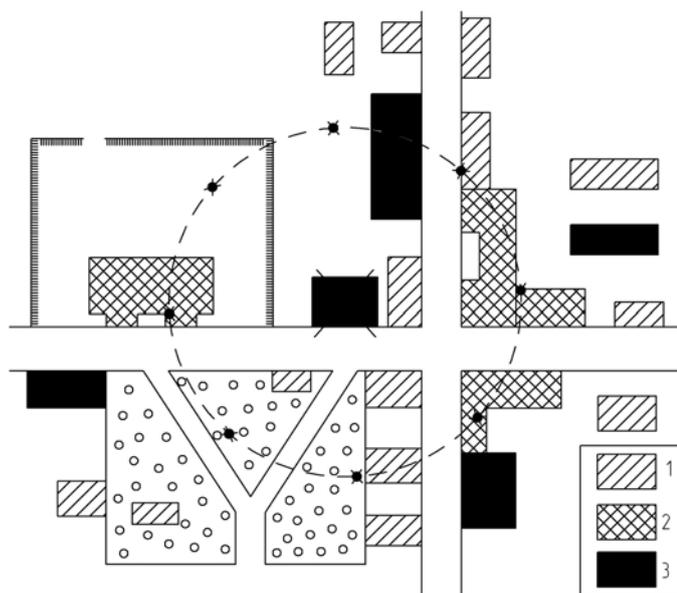


Рис. 1.1 Вариант ситуационного плана местности при валке зданий:  
1 – действующие сооружения; 2 – строящиеся сооружения; 3 – сооружения, подлежащие сносу

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.

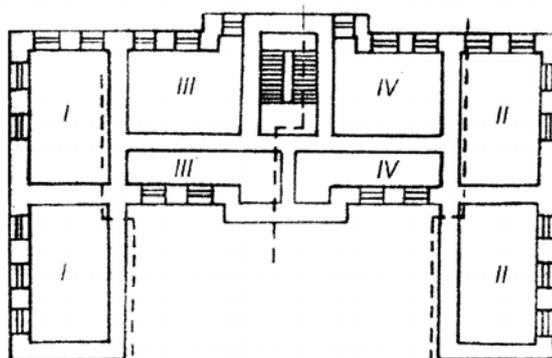


Рис. 1.2 Схема обрушения здания по частям:  
I, II, III, IV – очередность взрывания  
— — — граница отрыва стен

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.

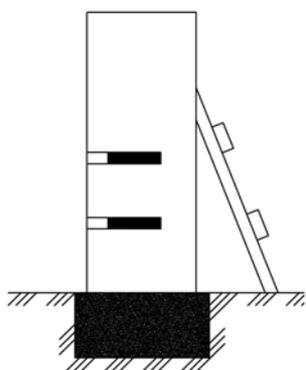


Рис. 1.3 Схема установки щитов напротив линии подбоя

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).

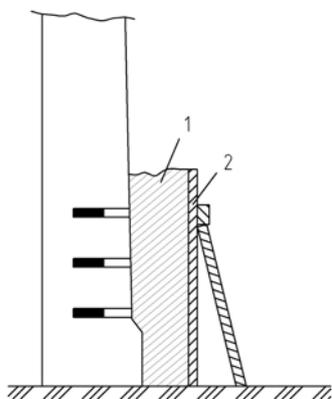


Рис. 1.4 Защитное устройство, предотвращающее разлет обломков

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).

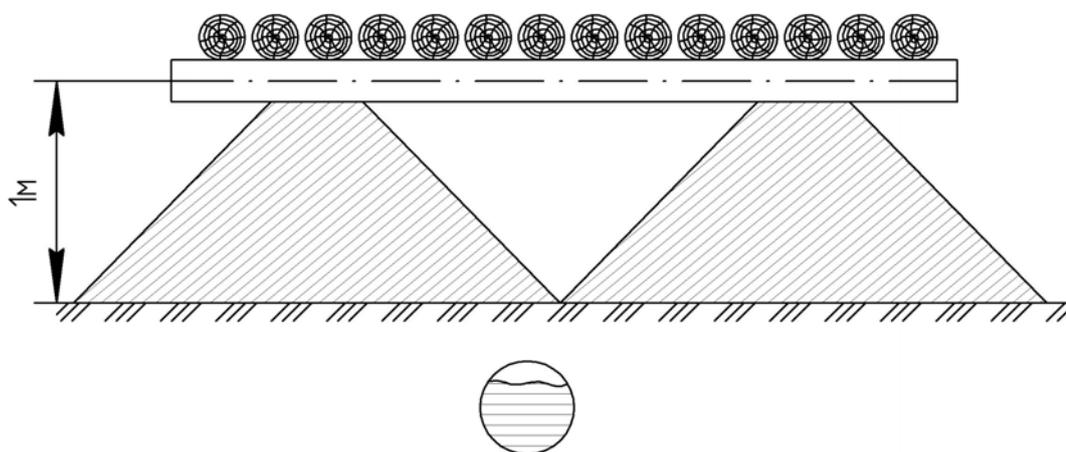


Рис. 1.5 Схема амортизатора, защищающего канализационную трубу

### 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.

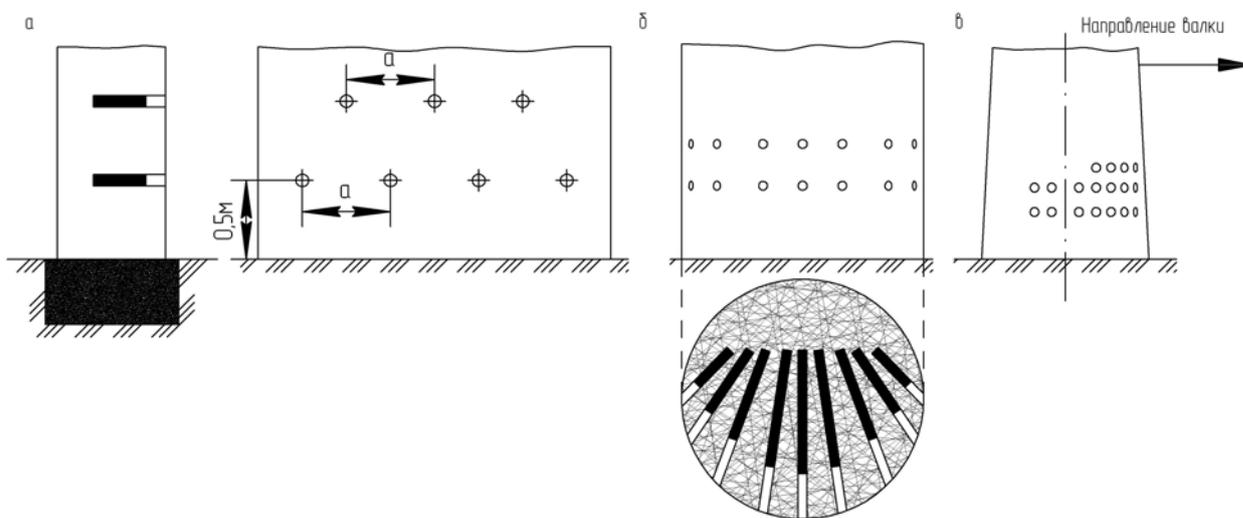


Рис. 1.6 Схема расположения шпуров подбоя:  
а – при валке стен; б – при обрушении колонн; в – при валке трубы

Расстояние между шпурами в ряду определяют по формуле:

$$a_o = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\text{зар}} a \delta}{q}}, \text{ м}, \quad (1.1)$$

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

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

$\Delta_{\text{ВВ}}$  – плотность ВВ, кг/м<sup>3</sup>;

$d_{\text{зар}}$  – 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/м<sup>3</sup>, для бетона –  $0,5...0,6$  кг/м<sup>3</sup>, для железобетона –  $0,6...0,7$  кг/м<sup>3</sup>).

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 <sup>3</sup> ) 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:

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

где  $\delta_{cm}$  – толщина стены, м.

Диаметр шпура рассчитывается по формуле:

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

**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 м<sup>3</sup> 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 м<sup>3</sup>. Но главные опасения вызывало расстояние до ближайшего жилого дома – всего 14 м.

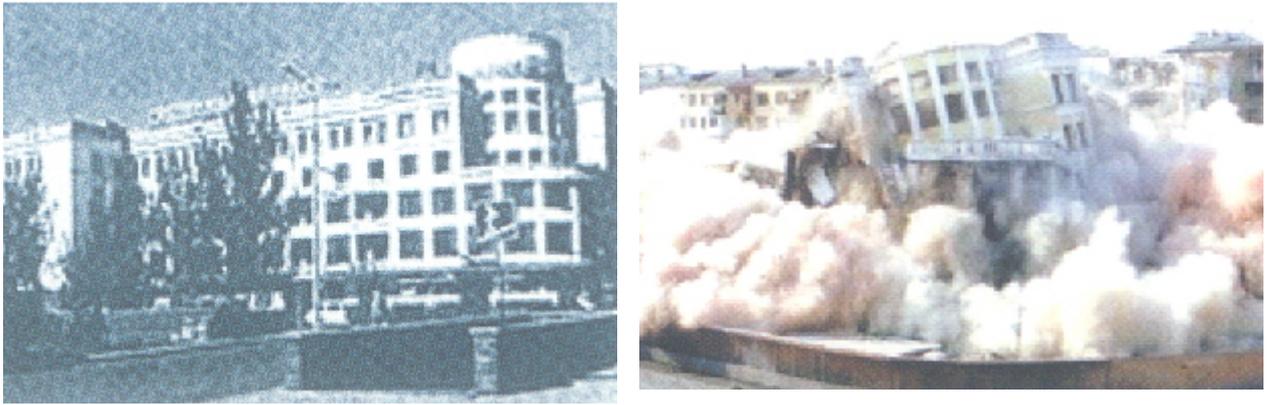


Рис. 1.7 Общий вид здания гостиницы «Донбасс» и ее обрушение взрывом на собственное основание (г. Донецк, 2001 г.)

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.

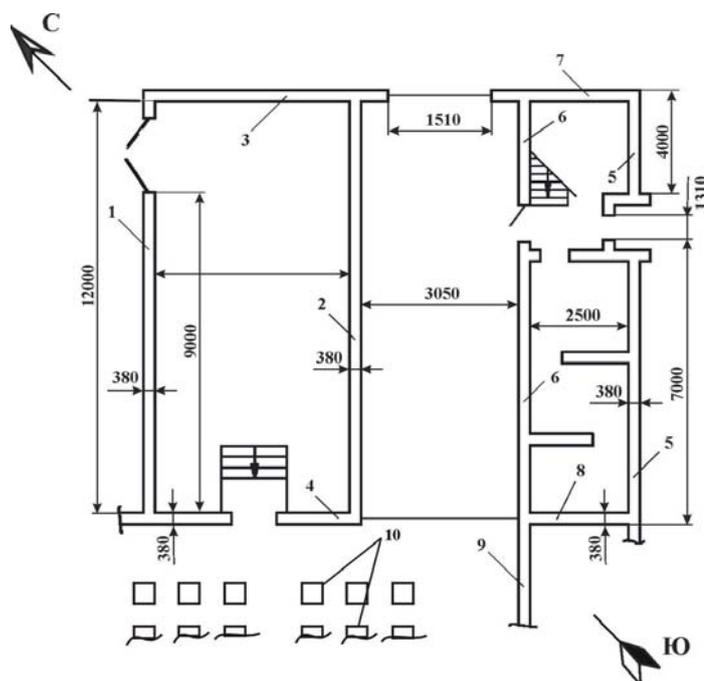


Рис. 1.8 План части котельной шахты № 2 ш/у им. газеты «Правда» перед производством взрывных работ:

- № 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).

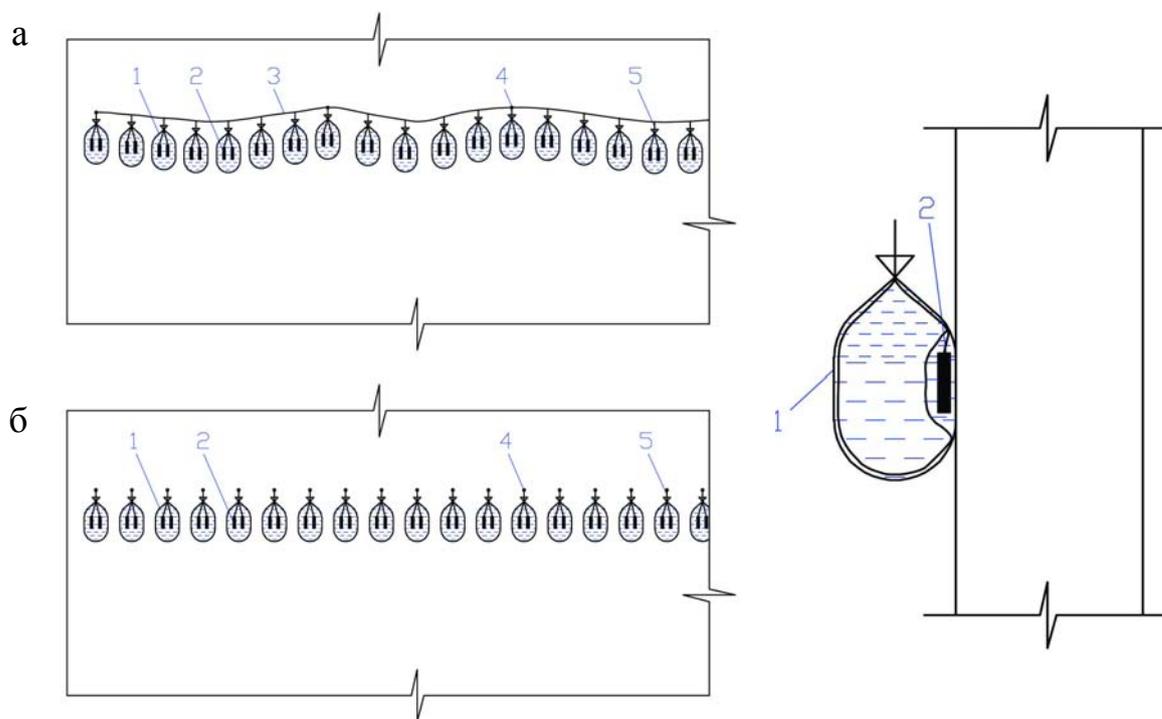


Рис. 1.9 Конструкция и принципиальные схемы размещения на поверхности стены накладных зарядов ВВ в водонаполненном полиэтиленовом сосуде: 1 – двойной полиэтиленовый сосуд, заполненный водой; 2 – заряд ВВ; 3 – несущий элемент (проволока); 4 – опоры; 5 – узлы подвески сосудов (крючья)

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/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup>.

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  $8 \text{ кг/м}^2$  поперечного сечения колонны (рис. 1.10).

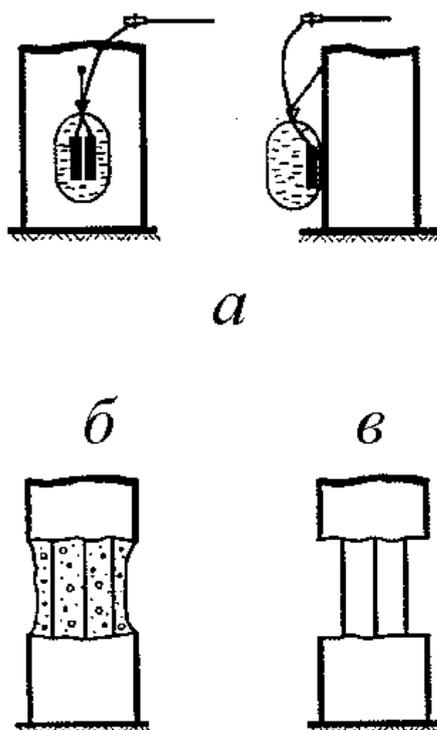


Рис. 1.10 Схема размещения накладных зарядов ВВ в водяной оболочке на поверхности колонн и результаты их взрывания

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 есть опасение, что труба не упадет строго в заданном направлении, например, при наличии местных ослаблений кладки и т.п., то применяют шпуров подкола, которые уменьшают вредное влияние местных ослаблений. Шпуров подкола бурят по длине на 0,3 периметра трубы и располагают с противоположной от подбоя стороны на 0,7...1,2 м выше верхнего ряда шпуров подбоя (см. рис. 1.11). Расстояние между шпуров в ряду такое же, что и между шпуров подбоя.

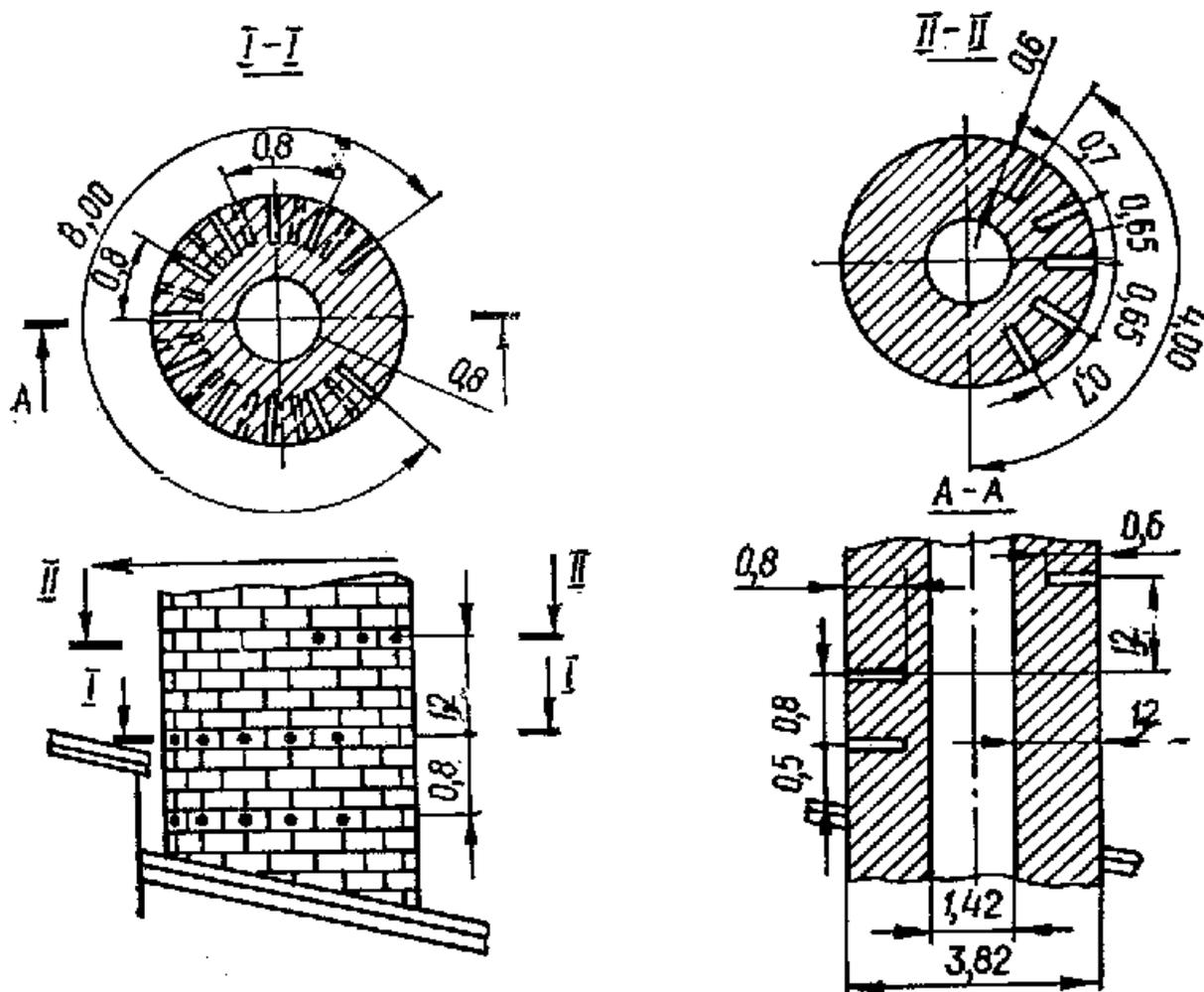


Рис 1.11 Вариант схемы расположения шпуров при обрушении трубы в заданном направлении

Направленному обрушению поддаются сооружения (или отдельные их части), высота которых значительно (в 4 раза и более) превышает размер горизонтального сечения на уровне вруба в направлении оси валки.

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.

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

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  $90^\circ$ , 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 м<sup>3</sup>, 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  $20^{\circ}$ . 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).

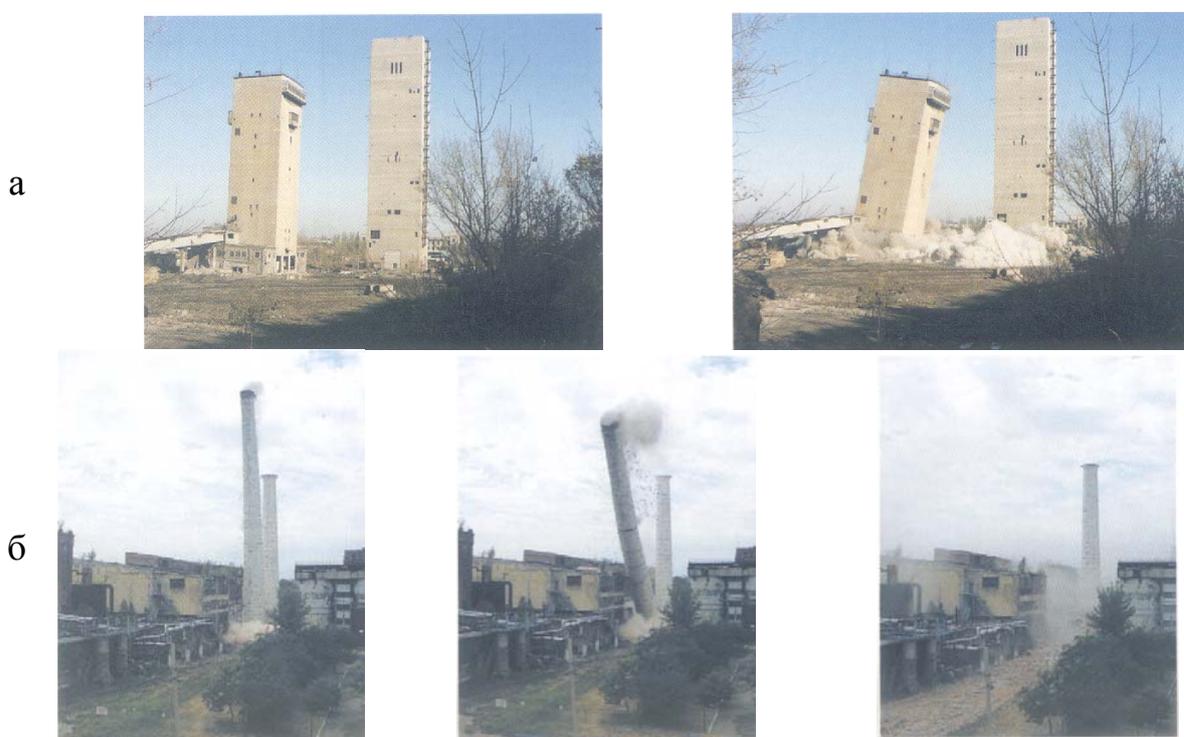


Рис. 1.12 Общий вид и последовательность падения в заданном направлении после взрыва шпуровых зарядов ВВ высотных сооружений: а – железобетонного копра ствола № 7 шахты «Кочегарка»; б – дымовой трубы на территории промплощадки Концерна «Стирол»

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.

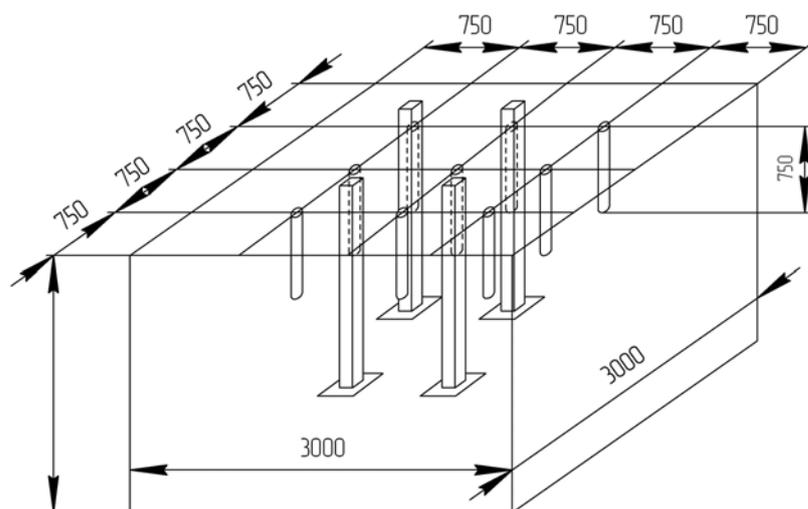


Рис. 1.13 Вариант схемы расположения шпуровых зарядов при рыхлении фундаментов

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.

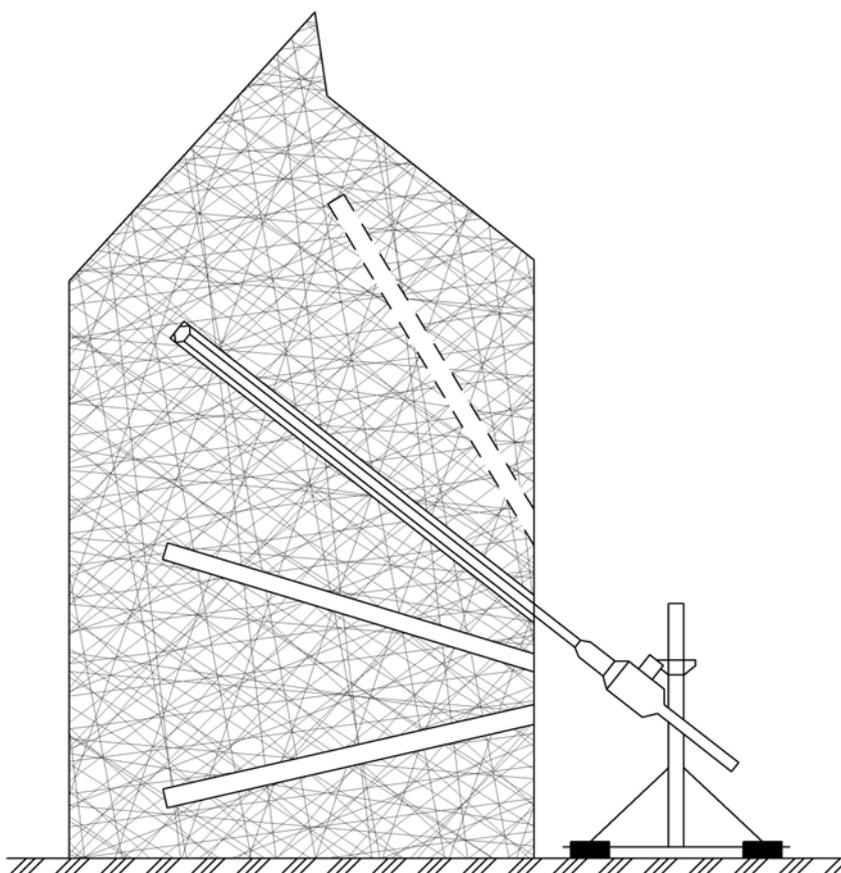


Рис. 1.14 Веерное расположение скважин в бетонном массиве

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  $r_{\phi}$  – 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 <sup>3</sup> | 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:

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

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

Если  $r_{\phi}$  составляет меньше половины  $l_{\text{ш}}$  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  $a_{\text{ш}}$  - 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<br>кладки | Расчетный<br>удельный<br>расход<br>ВВ, кг/м <sup>3</sup> | Расход ВВ (кг/1000 м <sup>3</sup> фундамента) при толщине<br>кладки, м |     |     |     |     |
|--------------------|--|--|-----|-----|-----|-----|
|                    |  | 1,0  | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| Кирпич,<br>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:

$$q_{\text{ш}} = 0,65 d_{\text{ш}}^2 l_{\text{ш}} \Delta_{\text{ВВ}}, \quad (1.8)$$

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 бЖВ,<br>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 м<sup>3</sup>/сут. Климат районов мягкий, умеренно-континентальный. Средняя годовая температура составляет +6,8<sup>0</sup>С и +8<sup>0</sup>С, 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.

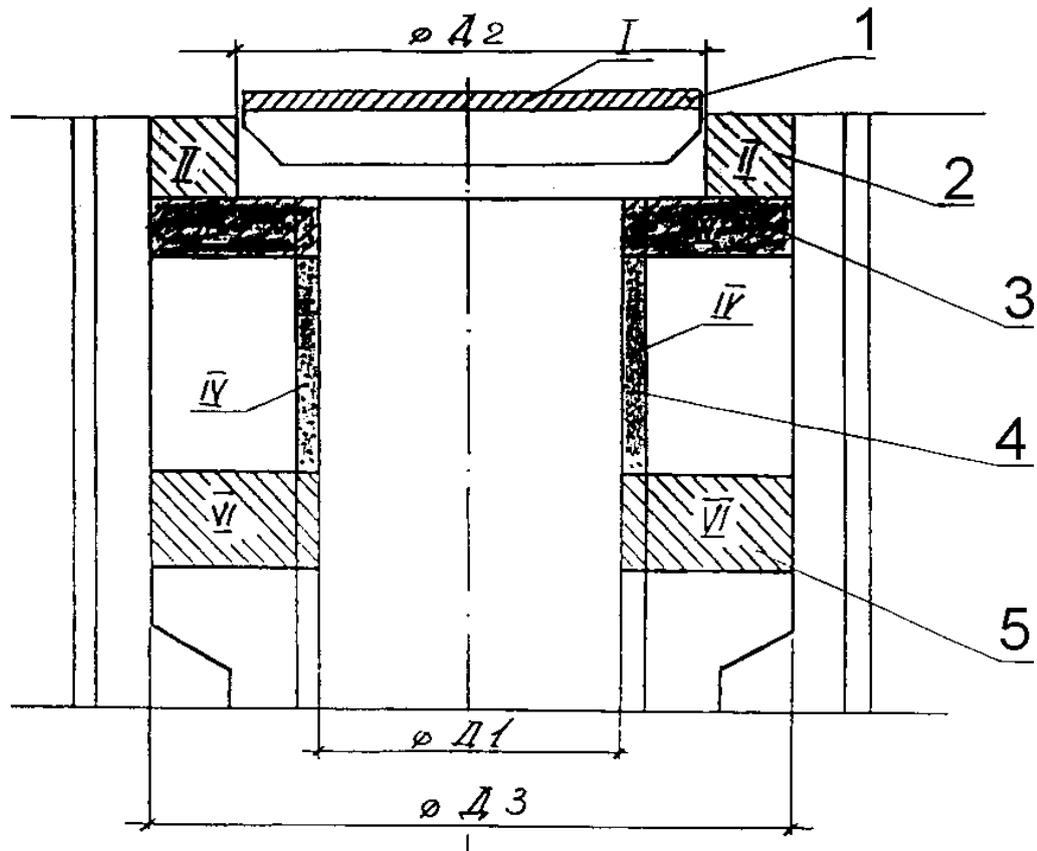


Рис. 1.15 Схема шахтной пусковой установки (ШПУ) и последовательность взрывных работ по ее разрушению (I-VI):

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;

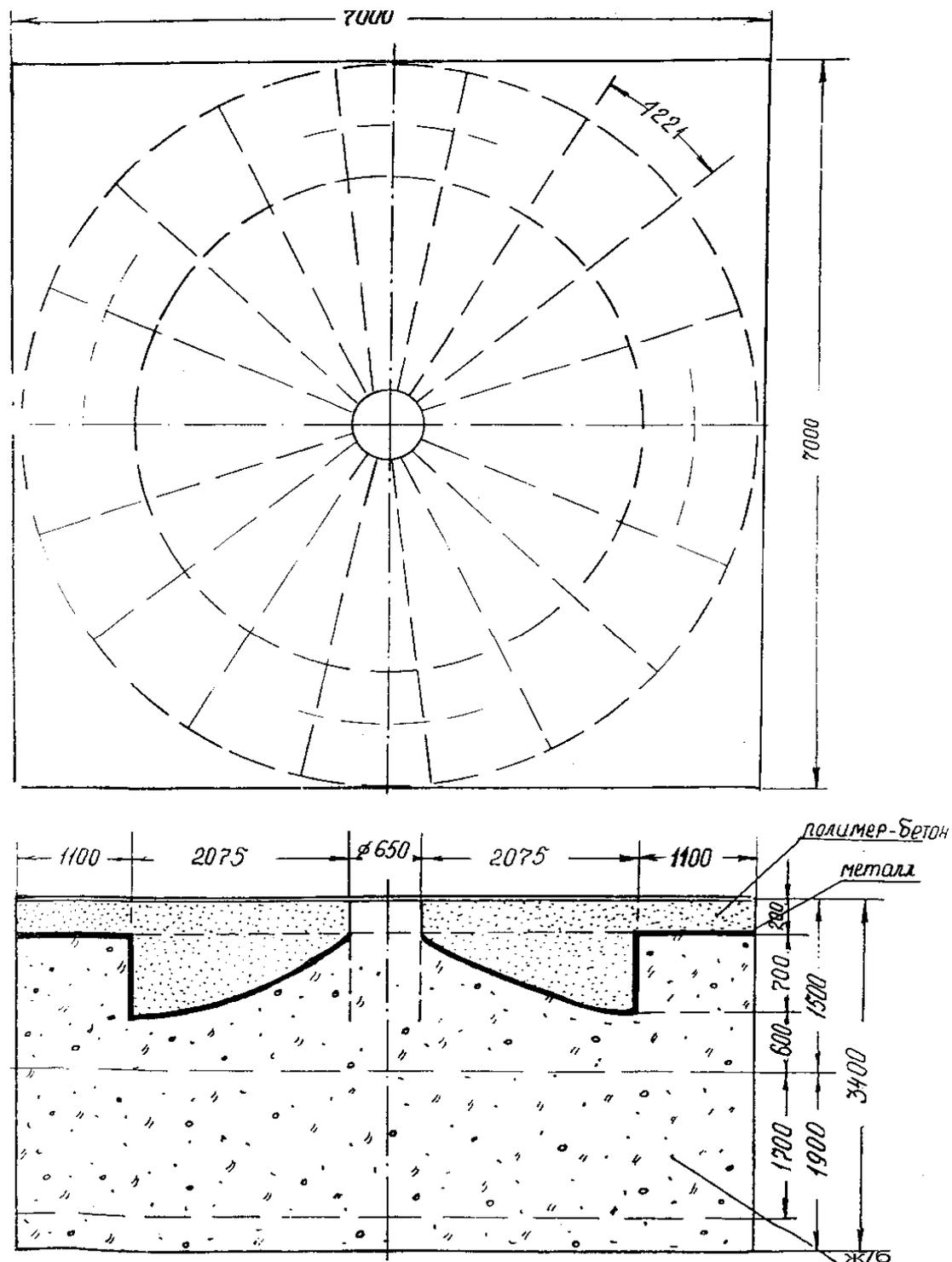


Рис. 1.16 Конструктивные особенности и размеры фундаментов антенн

- 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 заскладирование 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 м<sup>3</sup> в плотном теле до 200 м<sup>3</sup>.

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:

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

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)

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

|    |     |     |      | заряда ( $q_{ш}$ ), кг | ( $\ell_{зар}$ ), 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.

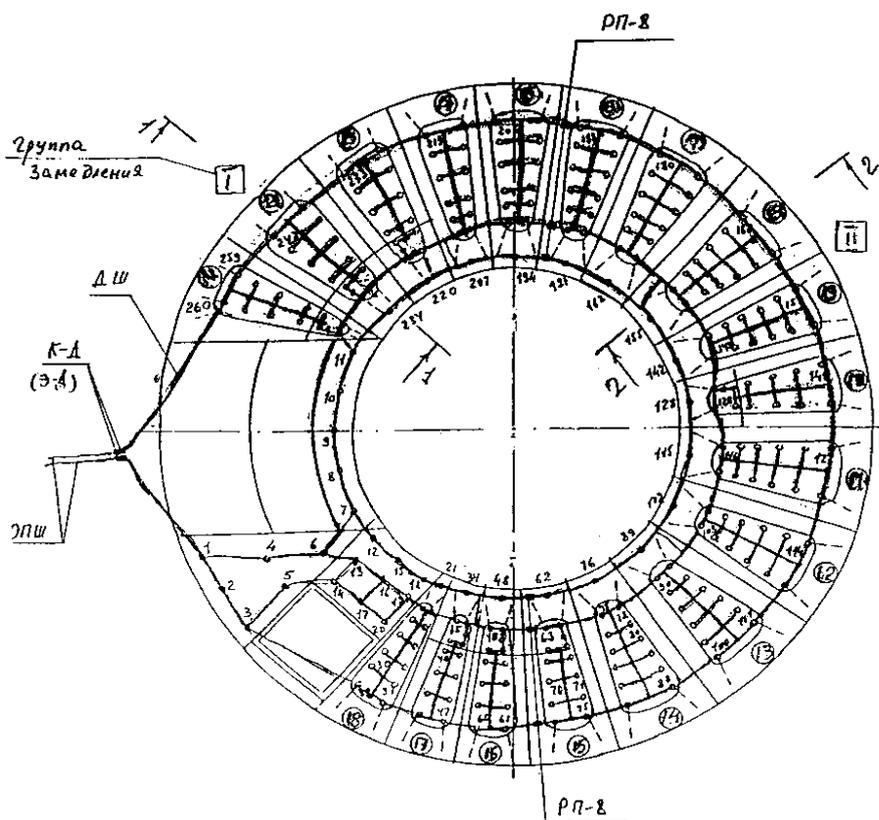


Рис. 1.17 Схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети при разрушении верхнего силового пояса

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)

| №№<br>ПП | Наименование параметров   | Ед.<br>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 |

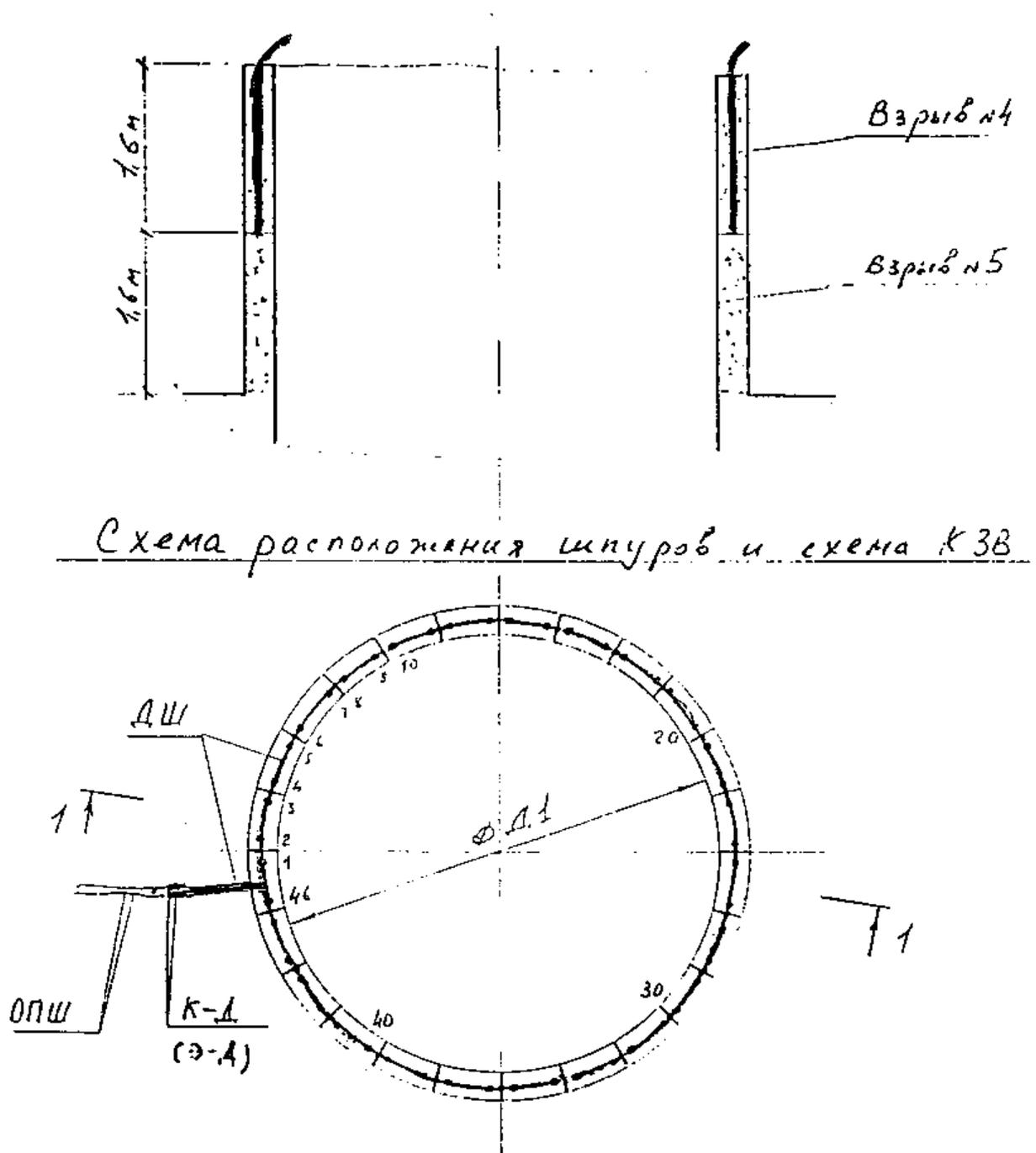


Рис. 1.18 Схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети при разрушении внутренней обечайки аппаратного отсека

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 ( $\ell_3$ ) 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,  $\text{м}^2$ .

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

| №<br>№<br>ПП | Толщина<br>металлоконструкц<br>ии, мм | Метод<br>взрыван<br>ия<br>шпурово<br>й/<br>накладно<br>й | Длин<br>а<br>шпур<br>а,<br>м | Расстоян<br>ие между<br>шпурами,<br>м | Длин<br>а<br>заряд<br>а, м | Масс<br>а<br>заряд<br>а, кг | Длин<br>а<br>забо<br>й-ки,<br>м |
|--------------|---------------------------------------|--|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1            | 5                                     | накладн<br>ые<br>заряды                                  | -                            | -                                     | 2,0                        | 8,0                         | -                               |
| 2            | 10                                    | тоже   | -                            | -                                     | 4,0                        | 16,0                        | -                               |
| 3            | 15                                    | шпуровы<br>е 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 кг/м<sup>3</sup>, для чугуна – 5 кг/м<sup>3</sup>);  
 $T$  – толщина металла, м;  
 $A_{л}$  – ширина листа (длина реза), м.

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

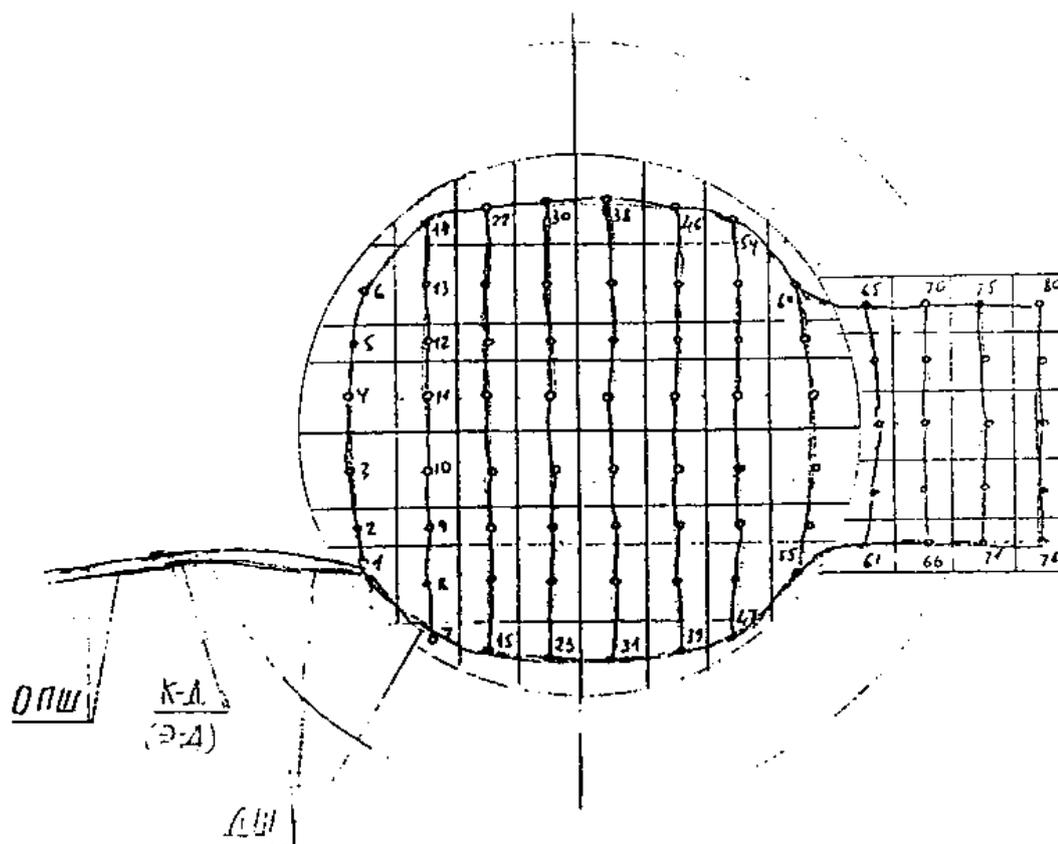


Рис. 1.19 Схема расположения шпуров и монтажа взрывной сети при разрушении крышки защитного устройства (ЗУ)

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) шпуров. 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

| №№<br>ПП | Наименование параметров                         | Ед.<br>изм. | Значения<br>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 6ЖВ<br>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 70<sup>0</sup>С, 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 200<sup>0</sup>С;
- 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 чугунных 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<sup>0</sup>С 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<sup>0</sup>С запрещается.

При температуре более 80<sup>0</sup>С 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<sup>0</sup>С 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...200<sup>0</sup>С разрешается взрывать за один прием двумя взрывниками не более одного заряда, при температуре 45...80<sup>0</sup>С – не более пяти зарядов. При температуре 45<sup>0</sup>С 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;

$l_{3,кам}$  – 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  $l_{3,кам}$  определяется путем численного решения следующего уравнения:

$$l_{\text{чад}} = \frac{0,86 \cdot P_{\text{г}} \cdot (n^2 - 1) \cdot l_{\text{чад}} \cdot (1 + \ln l_{\text{чад}})}{\ddot{A}^2 \cdot (\rho_s - \rho_3) \cdot \left(\frac{d_{\text{чад}}}{d_o}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{чад}}}{\rho_{\text{г}}}\right)}, \quad (1.15)$$

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

$n$  – показатель политропы;

$D$  – скорость детонации, м/с;

$\rho_3$  – насыпная плотность забойки, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_s$  – физическая плотность забоечного материала, кг/м<sup>3</sup>.

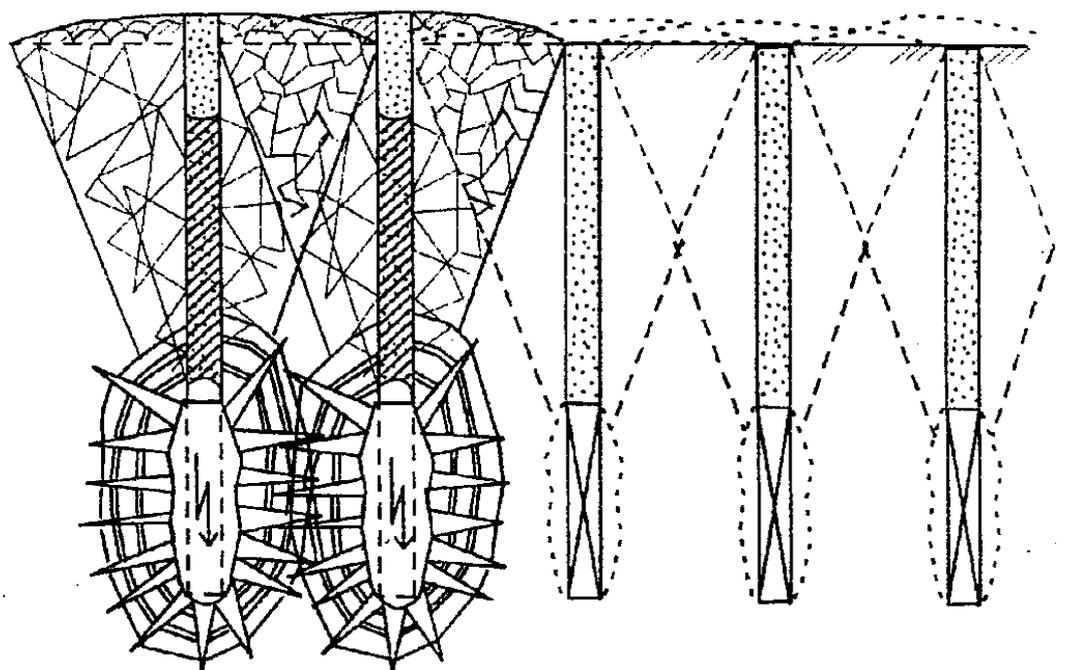


Рис. 1.20 Принципиальная схема рыхления массива взрывом камуфлетных зарядов ВВ

Уравнение (1.15) решается методом последовательных приближений.

Параметр  $h_3$  определяется по формуле:

$$h_3 = 5862,6 \cdot d_0^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_0}{\rho_3}} - 0,25 \cdot l_{\text{зар}} - 0,50 \cdot l_{\text{зар}} \quad (1.16)$$

где  $l_{\text{зар}}$  – 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    |                  | $l_3, \text{ м}$ | $l_{\text{ш}}, \text{ м}$ |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| $q_{\text{ш}}, \text{ кг}$    | $l_{\text{зар}}, \text{ м}$ | $l_{3,\text{кам}}, \text{ м}$ | $h_3, \text{ м}$ |                  |                           |
| 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.

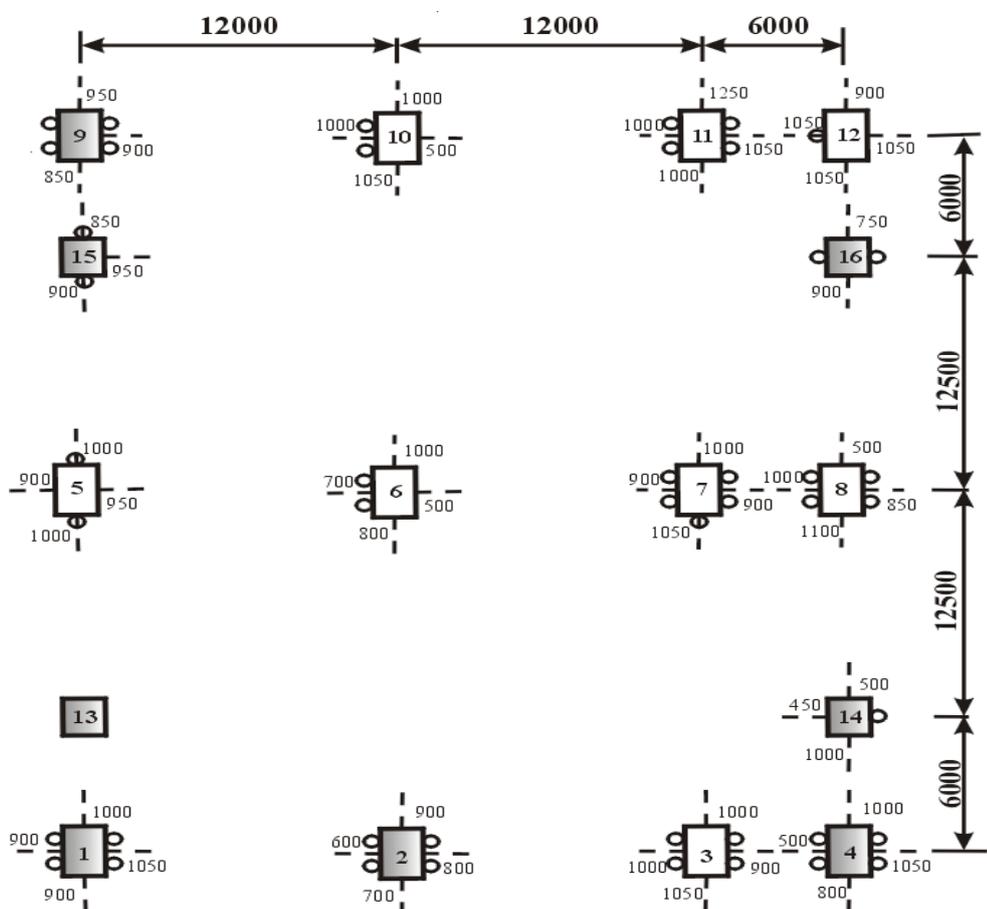


Рис. 1.21 План здания подъемной машины ствола № 5 шахты им. А.Б. Батова:

- № 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  $80^{\circ}$  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/м<sup>2</sup> 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).

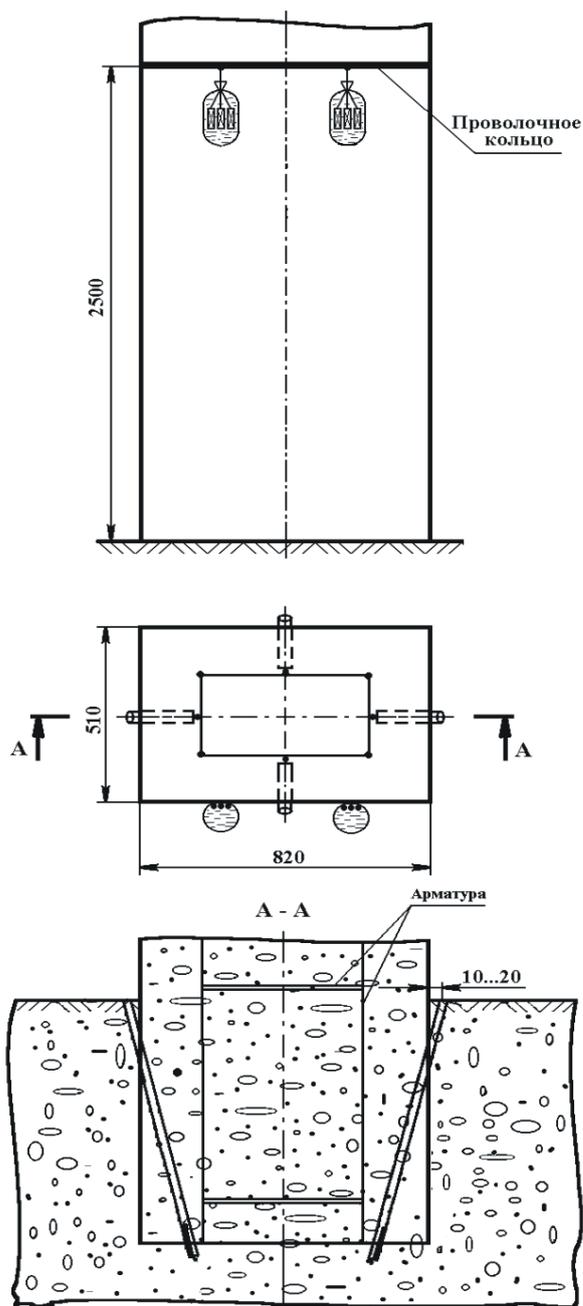


Рис. 1.22 Схема подбоя железобетонных колонн взрывом камуфлетных зарядов и зарядов в водонаполненной полиэтиленовой оболочке

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).

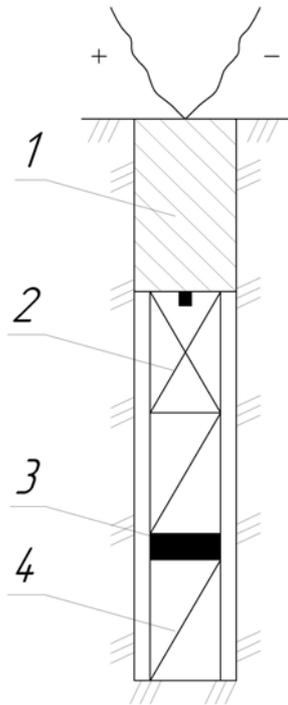


Рис. 1.25 Конструкция рассредоточенного инертным промежутком шпурового заряда:

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, м<sup>2</sup>;

$\rho_{ин}$  - плотность материала инертного промежутка, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_{ин}$  - 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/м<sup>3</sup>.

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/см<sup>3</sup>. 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?

## Тема 2

# ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ И ДОБЫЧЕ НЕФТИ И ГАЗА

### *2.1 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).

### 2.1.1 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.

*2.1.1.1 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. 2.1) и обычно равно диаметру зоны пластических деформаций от взрыва одиночного заряда.

Таблица 2.1

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:

$$a = 1,5(\sqrt[3]{Q_1} + \sqrt[3]{Q_2}). \quad (2.1)$$

При использовании зарядов большой суммарной массы оптимальную массу единичного заряда вычисляют по формуле:

$$Q_{\dot{a}\dot{a}} = \frac{\ddot{O}_{\dot{n}}}{\ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}}(1 - m_c)}, \quad (2.2)$$

где  $C_c$  – стоимость бурения скважины;

$C_{BB}$  – 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:

$$Q_{\dot{a}\dot{a}}' = \frac{\ddot{O}_{\dot{n}} + t_{\dot{a}} \ddot{O}_{\dot{i}\dot{o}}}{\ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}}(1 - m_c)}, \quad (2.3)$$

где  $t_{\dot{o}}$  – время бурения одной скважины;

$C_{np}$  – стоимость 1 ч простоя на геофизических работах.

### 2.1.1.2 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:

$$a = \frac{2\sqrt[3]{Q}\sqrt{1+n^2}}{\sqrt[3]{0,4(1+1,5n^3)}}, \quad (2.4)$$

где показатель выброса принимается равным:

$$n = \sqrt[3]{1,67Q/W^3 - 0,67} . \quad (2.5)$$

Оптимальное расстояние между зарядами различной массы вычисляют по формуле:

$$a' = \frac{\sqrt[3]{Q_1} \sqrt{1+n_1^2}}{\sqrt[3]{0,4(1+1,5n_1^3)}} + \frac{\sqrt[3]{Q_2} \sqrt{1+n_2^2}}{\sqrt[3]{0,4(1+1,5n_2^3)}} . \quad (2.6)$$

показатели действия взрыва  $n_1$  и  $n_2$  определяется по формуле (2.5) с подстановкой значений  $Q_1$  и  $Q_2$  и соответствующих им значений  $W_1$  и  $W_2$  ( $W$  - линия наименьшего сопротивления).

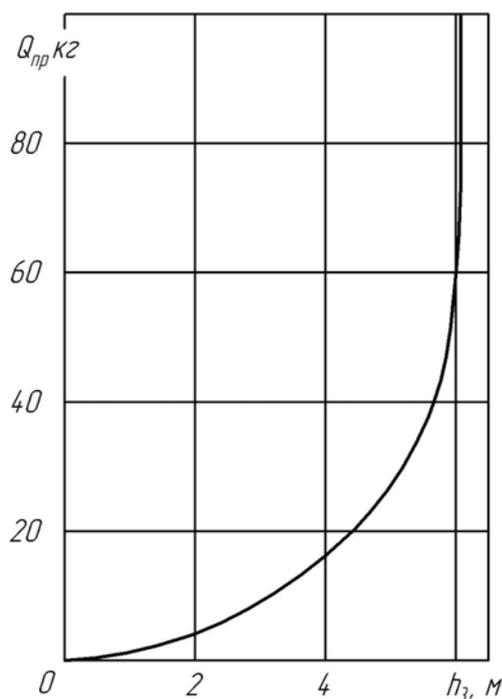


Рис. 2.1 Зависимость предельной массы заряда от глубины его погружения

### 2.1.1.3 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:

$$a = 3\sqrt[3]{Q}. \quad (2.7)$$

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:

$$a \leq (h_{\text{зад}}^I + h_{\text{зад}}^{II}) / 2, \quad (2.8)$$

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.

*2.1.1.5 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.

### 2.1.2 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.

### **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.

## 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.
- 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.
- 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.

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 взрывним роботам в угольних 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.

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.