

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



В.В. Соболев
Р.М. Терещук
О.Є. Григор'єв

ТЕХНОЛОГІЯ ТА БЕЗПЕКА ВИКОНАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ

Навчальний посібник

Дніпро
НГУ
2017

Рекомендовано вченою радою Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» як навчальний посібник для бакалаврів та магістрів спеціальностей 184 Гірництво і 192 Будівництво та цивільна інженерія (протокол № 13 від 18.10.2016).

Рецензенти:

Е.І. Єфремов, д-р техн. наук, професор, чл.-кор. НАН України, заслужений діяч науки і техніки України, завідувач відділу механіки вибуху гірських порід ІГТМ НАН України;

В.Д. Петренко, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри тунелів, основ та фундаментів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Соболев В.В.

С 54 Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. для ВНЗ / В.В. Соболев, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.

ISBN 978–966–350–654–8

Розглянуто загальні питання вибухових перетворень, причини й характеристики умов виникнення детонації, закономірності її розвитку у вибуховій речовині, особливості детонації промислових вибухових речовин, способи дослідження та вимірювання швидкості детонації на практиці, елементи термохімії процесів горіння й вибуху, способи випробовування запобіжних вибухових речовин, способи відносної оцінки роботи вибуху, основні вибухові речовини, способи підривання зарядів вибухових речовин, елементи теорії запобіжних вибухових речовин, сфери їх застосування відповідно “Правил безпеки ...”. Викладено основи теорії дії вибуху в ґрунтах і скельних масивах, основи технології проведення підземних виробок буропідривним способом. Приділено увагу питанням струсного підривання.

Розрахований на студентів вищих навчальних закладів спеціальності «Гірництво», які вивчають дисципліни «Технологія та безпека виконання підривних робіт», «Вибухові роботи у міських умовах», «Спеціальні підривні роботи», а також на фахівців вибухової справи, інженерів, аспірантів.

УДК 622.233.622.235:622.271 (075.3)

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА	7
СКРОЧЕНІ ПОЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ	9
1. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН	10
1.1. Ударні хвилі.....	14
1.2. Форми хімічного перетворення вибухових речовин.....	22
1.2.1. Детонація вибухових речовин.....	25
1.2.2. Принцип Ю.Б. Харитона.....	33
1.3. Механізми та способи порушення детонації в зарядах ВР.....	37
1.4. Експериментальні дослідження детонації ВР.....	40
1.4.1. Оптичний метод визначення швидкості детонації.....	42
1.4.2. Метод іонізаційних датчиків.....	44
1.4.3. Метод Дотріша.....	45
1.4.4. Оптиволоконний метод дослідження детонації ВР.....	48
1.4.5. Передача детонації на відстань.....	50
1.5. Елементи термохімії процесів горіння і вибуху.....	51
1.5.1. Теплота вибуху. Закон Гесса.....	52
1.5.2. Кисневий баланс ВР.....	54
1.6. Чутливість ВР до зовнішніх впливів.....	58
1.7. Деякі способи відносної оцінки корисної роботи вибуху.....	60
1.7.1. Працездатність ВР.....	60
1.7.2. Бризантність ВР.....	62
Питання для самоконтролю знань.....	65
Список рекомендованої літератури.....	66
2. ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ І ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ	68
2.1. Ініціюючі ВР.....	70
2.1.1. Деякі фізико-хімічні характеристики найбільш поширених ІВР...	74
2.1.2. Світлочутливі екологічно безпечні енергонасичені речовини.....	77
2.2. Бризантні ВР.....	80
2.2.1. Термостійкі ВР.....	85
2.3. Метальні ВР.....	86

2.4. Сумішеві ВР для промислових підривних робіт.....	89
2.4.1. Аміачно-селітряні ВР і їх основні типи.....	94
2.4.2. Нітрогліцеринові ВР.....	116
2.4.2.1. Незапобіжні ВР II класу.....	117
2.4.2.2. Запобіжні ВР III класу.....	118
2.4.2.3. Запобіжні ВР IV класу.....	119
2.4.2.4. Запобіжні ВР V класу.....	121
2.4.2.5. Запобіжні ВР VI класу.....	123
2.4.2.6. Запобіжні ВР VII класу.....	125
2.5. Способи і засоби безполум'яного підривання.....	128
2.6. Особливості детонації промислових ВР.....	129
2.6.1. Патроновані емульсійні ВР.....	133
2.7. Відповідальність персоналу за порушення порядку зберігання, обліку та використання вибухових матеріалів.....	138
2.7.1. Керівник і головний інженер шахти.....	139
2.7.2. Керівник підривних робіт.....	140
2.7.3. Начальник дільниці підривних робіт.....	141
2.7.4. Начальник дільниці, на якій ведуться підривні роботи.....	142
2.7.5. Гірничий майстер, майстер, начальник зміни дільниці, де проводяться підривні роботи.....	142
2.7.6. Майстер-підривник (підривник).....	143
2.8. Класифікація вибухових матеріалів за групами сумісності.....	144
Питання для самоконтролю знань.....	145
Список рекомендованої літератури.....	146
3. СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ ПІДРИВАННЯ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН.....	148
3.1. Підривання за допомогою електродетонаторів.....	148
3.1.1. Підривні роботи із застосуванням ЕД (НПАОП 0.00-1.66-13)....	154
3.2. Неелектричні способи ініціювання зарядів ВР.....	158
3.2.1. Вогневе ініціювання зарядів.....	162
3.2.2. Правила безпеки при вогневому підриванні (НПАОП 0.00-1.66-13).....	164
3.2.3. Система «НОНЕЛЬ».....	167
3.2.4. Система «ОПСІН».....	169

3.2.5. Система «Прима-ЕРА».....	172
3.2.6. Підривні роботи із застосуванням НСІ.....	178
3.3. Комбіновані способи підривання.....	180
3.3.1. Електровогневе ініціювання зарядів ВР.....	180
3.3.2. Підривні роботи із застосуванням ДШ.....	181
Питання для самоконтролю знань.....	185
Список рекомендованої літератури.....	186
4. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЗАПОБІЖНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН.....	187
4.1. Фізико-хімічні особливості вибуху суміші метану з повітрям.....	189
4.2. Особливості вибуху вугільного пилу.....	192
4.3. Принципи побудови запобіжних ВР.....	196
4.4. Перспективи розвитку запобіжних ВР.....	198
4.5. Методи випробування запобіжних ВР.....	200
4.5.1. Випробування на безпеку дії вибуху в метано-повітряній суміші.	200
4.5.2. Випробування на безпеку дії вибуху в пилоповітряному середовищі.....	204
Питання для самоконтролю знань.....	205
Список рекомендованої літератури.....	206
5. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ДІЇ ВИБУХУ В СЕРЕДОВИЩІ.....	207
5.1. Класифікація зарядів ВР.....	207
5.1.1. Кумулятивний заряд.....	212
5.2. Вибух повітряних і наземних зарядів ВР.....	217
5.3. Вибух у воді.....	221
5.4. Дія вибуху в ґрунтах.....	224
5.5. Вибух заряду в скельному монолітному масиві.....	228
5.6. Вибух заряду в тріщинуватому скельному масиві.....	231
5.7. Деякі закономірності взаємодії групи зарядів.....	233
5.8. Руйнування порід короткоуповільненим підриванням (КУП).....	234
Питання для самоконтролю знань.....	238
Список рекомендованої літератури.....	238
6. ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК.....	240
6.1. Підривання шпуровими зарядами ВР.....	240
6.1.1. Основні підривні вруби.....	242

6.2. Забійка шпурів при підриванні у вугільних шахтах	248
6.2.1. Інгібіторна забійка.....	248
6.2.2. Сучасні матеріали забійки.....	250
6.3. Причини відмов і вигоряння зарядів ВР.....	252
6.3.1. Деякі способи інертизації вибухонебезпечної атмосфери.....	256
6.4. Особливості підривних робіт при проведенні виробок по викидо- небезпечних пластах.....	257
6.5. Підривні технології підземного виймання вугілля.....	265
6.6. Використання емульсійних ВР під час проходки виробок.....	269
6.7. Поводження з вибуховими матеріалами (НПАОП 0.00-1.66-13).....	276
6.7.1. Підготовка ВМ до використання.....	276
6.7.2. Вимоги при поведженні з ВМ під час підривних робіт у підзем- них умовах.....	277
6.7.3. Підривні роботи під час поглиблення стволів шахт або шурфів...	280
6.7.4. Підривні роботи під час будівництва тунелів і метрополітену.....	281
6.7.5. Ліквідація зарядів, що відмовили.....	282
Питання для самоконтролю знань.....	286
Список рекомендованої літератури.....	289
7. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ У МІСЬКИХ УМОВАХ (НПАОП 0.00-1.66-13).....	290
7.1. Вимоги до проектної документації.....	290
7.2. Підривні роботи під час руйнування будівель і споруд.....	293
7.3. Підривні роботи в гарячих масивах.....	295
7.4. Підривні роботи у підривних камерах і бронелях.....	297
7.5. Підривні роботи під час оброблення металів енергією вибуху.....	299
7.6. Підривні роботи під час дроблення матеріалів.....	300
7.7. Визначення безпечних відстаней при виконанні підривних робіт.....	301
7.7.1. Визначення відстаней, безпечних за розкиданням кусків породи..	301
7.7.2. Визначення безпечних відстаней за передачею детонації.....	305
7.7.3. Визначення відстаней, безпечних за дією отруйних газів вибуху..	307
Питання для самоконтролю знань.....	307
Список рекомендованої літератури.....	308
ВИСНОВКИ.....	309
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	311

ПЕРЕДМОВА

Підривні роботи – один з основних способів руйнування гірських порід, що використовується при проведенні гірничих виробок різного призначення, у будівництві каналів, гребель, гідротехнічному будівництві та при видобутку корисних копалин. Вибух використовується при заваленні будівель і споруд промислового та цивільного призначення, виконанні спеціальних видів робіт (зварювання, зміцнення і штампування металів, ремонт доменних печей, інших металургійних споруд і т. д.). Обсяг підривних робіт у технологічному циклі деяких гірничих підприємств досягає 90 %.

Метою викладання дисципліни «Технологія та безпека виконання підривних робіт» є інженерна підготовка на право керівництва підривними роботами. Таким чином, для тих, хто навчається за спеціальністю «Гірництво», ця дисципліна є однією з провідних дисциплін, що вимагає фундаментальної підготовки в галузі фізики, хімії та математики, глибоких знань фізики гірських порід, механіки гірських порід, геологічних дисциплін та ін.

Майбутні виробничі функції фахівця включають уміння організовувати проведення підривних робіт відповідно до правил безпеки при підривних роботах; керувати підривними роботами і контролювати якість їх виконання; вибирати раціональні способи буріння шпурів і свердловин, типи вибухових речовин і засобів ініціювання; керувати технікою і технологією заряджання; контролювати монтаж підривної мережі, її справність і виконання вибухів; розробляти і здійснювати заходи щодо запобігання травматизму; розробляти і вести технічну документацію.

Майбутній фахівець повинен знати основи теорії детонації вибухових речовин і ударних хвиль у різних середовищах; теорії вибуху і створення промислових вибухових речовин; типи і властивості вибухових речовин, сферу їх раціонального застосування; способи і засоби підривання зарядів вибухових речовин; методи оцінки ефективності та якості промислових вибухових речовин; методи розрахунку параметрів буропідривних робіт при веденні підривних робіт у підземних умовах; методи розрахунку кисневого балансу, температури, роботи і теплоти вибуху, повітряних ударних хвиль, сейсмічно безпечних відстаней; сучасний рівень підривних робіт у шахтах; особливості ведення підривних робіт при проведенні виробок у небезпечних умовах вугільних шахт.

Для глибокого вивчення і засвоєння матеріалу, активізації занять використовуються елементи методів проблемного викладу матеріалу на лекціях, технічні засоби навчання, результати наукових досліджень при виконанні науково-дослідних робіт та ін.

Навчальний посібник написано за матеріалами лекцій, які автори читали протягом останніх років студентам факультету будівництва та гірничого факультету. Раніше видані навчальні посібники («Ударні хвилі у твердих середовищах», «Українсько-російсько-англійський термінологічний словник з гірничовибухової справи», «Технологія та безпека виконання вибухових робіт. Практикум» та «Способи підривання зарядів вибухових речовин») разом з запропонованим призначені для підвищення теоретичного рівня і глибокого засвоєння основних розділів програми навчальної дисципліни «Технологія та безпека виконання вибухових робіт».

Теоретичний курс складається з семи розділів, у яких викладені деякі елементи теорії вибухових речовин, основні відомості про вибухові речовини, їх властивості та класифікації, способи підривання зарядів вибухових речовин, елементи теорії запобіжних вибухових речовин, основи теорії дії вибуху на середовище і вибухові технології проведення підземних виробок. У кожному з перерахованих розділів приділяється увага питанням охорони праці, наводяться основні вимоги «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення».

У кінці кожного розділу наведено список рекомендованої літератури як додаткових джерел для використання студентами при самостійній роботі. Перелік контрольних питань охоплює всі ключові положення теоретичного курсу.

СКОРОЧЕНІ ПОЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ

АС – аміачна селітра

АС-ДП (AN-FO) – суміш аміачної селітри з дизельним паливом

БВР – бризантні вибухові речовини

БПР – буропідривні роботи

ВР – вибухова речовина

ВС – вибухові суміші

ВМ – вибухові матеріали

ВШ – вогнепровідний шнур

ДАРС – Державна аварійно-рятувальна служба

ДСТУ – Державний стандарт України

ДШ – детонувальний шнур

ЕВР – емульсійні вибухові речовини

ЕД – електродетонатор

ЗІ – засоби ініціювання

ЗЗМ – змішувально-зарядна машина

ІВР – ініціюючі вибухові речовини

КД – капсуль-детонатор

КаС – калієва селітра

ЛНО – лінія найменшого опору

МВ – масовий вибух

МВС – метано-повітряна суміш

НСІ – неелектричні системи ініціювання

НаС – натрієва селітра

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці

ОД – оптичний детонатор

ПБ – патрон-бойовик

ПВ – продукти вибуху

ПВР – промислові вибухові речовини

ППС – пило-повітряна суміш

ПГПС – пило-газо-повітряна суміш

ПД – продукти детонації

ТРП – тверде ракетне паливо

ТУ – технічні умови

УПХ – ударно-повітряна хвиля

1. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

У розділі наведені основні питання теорії і практики вибуху, викладені загальні поняття хімічного перетворення вибухових речовин та розглянуті методи і способи визначення їх показників та характеристик.

Спираючись на матеріал розділу, довідкову та науково-технічну літературу, студент повинен уміти:

- класифікувати вибухи та хімічні перетворення вибухових речовин;*
- характеризувати параметри ударної хвилі в різних середовищах;*
- визначати методи дослідження показників вибухової речовини;*
- оцінювати якісні показники вибухової речовини.*

У сьомому столітті н.е. у Китаї була винайдена перша вибухова речовина – чорний (димний) порох, який з середини 13 століття вперше з'явився в Європі. У 19 столітті були винайдені перші бризантні вибухові речовини. Піроксилін, пікринову кислоту і тротил стали застосовувати у військовій техніці, нітрогліцерин і динаміти – в гірничій промисловості. Перед другою світовою війною почали застосовувати тен і гексоген, після війни – октоген. У 80-х рр. 19 століття був винайдений бездимний порох, який став основною метальною ВР для вогнепальної зброї, а починаючи з 30-х рр. 20 століття – і для реактивних снарядів (поряд із сумішевими порохами). На початку 19 століття для займання чорного пороху стали застосовувати першу ініціюючу ВР – гримучу ртуть.

Вибухові речовини широко застосовують при видобутку корисних копалин, проходці підземних виробок у шахтах, рудниках, метро та інших підземних споруд, при будівництві каналів, гребель. У машинобудуванні ВР використовують при штампуванні, зварюванні та зміцненні металів вибухом, для синтезу алмазних мікро- і нанокристалів, нітриду бору, отримання композитів, нових матеріалів та інших завдань; у піропатронах, що застосовуються в автомобілях, космічних апаратах та ін. ВР також використовують у геології, геофізики, сільському господарстві.

У гірничій промисловості відповідно до класифікації за умовами застосування ВР поділять на сім класів і спеціальний: 1 і 2 клас – незапобіжні ВР, призначені для проведення вибухових робіт головним чином на денній поверхні, в деяких випадках для підземних вибухових робіт, наприклад, при будівництві тунелів, метро, підземних сховищ та інших об'єктів, з 3 по 7 клас – запобіжні ВР,

що використовують для підземних робіт. Вибухові речовини для підземних робіт, особливо для шахт, небезпечних за вибухом газу або пилу, мають порівняно з ВР для відкритих гірничих робіт більш складний компонентний склад, утворюють при вибуху менше отруйних газоподібних продуктів – оксидів азоту й оксиду вуглецю. У даний час основну масу промислових ВР складають аміачно-селітрові ВР, у тому числі емульсійні.

У військовій техніці ВР застосовують для спорядження боєприпасів різного призначення: мін, снарядів, авіаційних бомб, бойових частин ракет, бойових зарядних відділень торпед, ручних і рушничних гранат та ін., а також як порохові заряди артилерійських і мінометних пострілів, патронів для стрілецької зброї, твердопаливних ракетних двигунів і т. ін. ВР є важливою частиною атомних і термоядерних боєприпасів (вибух зарядів вторинної ВР забезпечує досягнення надкритичної маси ядерного заряду).

Широке застосування ВР знаходять і в наукових дослідженнях як простий і зручний спосіб отримання надвисоких температур, швидкостей і тисків.

Існує цілий ряд визначень вибухових речовин. Наведено деякі з них, запозичені з різних джерел.

Вибухові речовини – хімічні сполуки або суміші речовин, здатні до швидкої хімічної реакції, що супроводжується виділенням великої кількості тепла та утворенням газів. Ця реакція, виникнув у якій-небудь точці в результаті нагрівання, удару, тертя, вибуху іншої ВР чи іншого зовнішнього впливу, поширюється по заряду за рахунок передачі енергії від шару до шару за допомогою процесів тепло- і масопереносу (горіння) або ударної хвилі (детонація).

Вибуховими речовинами називають індивідуальні речовини або суміші, здатні в деяких випадках довільно, але, як правило, під впливом якого-небудь зовнішнього фізичного поля – механічного, теплового та електричного, дії лазерного випромінювання, ударної хвилі, а також у разі зміни функціонального покриву поверхні кристалів, до розвитку, тобто самостійно розповсюджуватися, як хімічна реакція з утворенням газів і виділенням великої кількості енергії.

Система класифікації та маркування хімічних речовин пропонує наведені далі визначення.

Вибухова речовина – це хімічна сполука або суміш сполук, здатна в результаті певних зовнішніх впливів або внутрішніх процесів вибухати, виділяючи тепло й утворюючи сильно нагріті гази. Комплекс фізико-хімічних процесів, які відбуваються в такій речовині, називається детонацією.

Традиційно до вибухових речовин також відносять сполуки і суміші, що не детонують, а горять з певною швидкістю (метальні порохи, піротехнічні суміші, ракетне паливо).

Вибухові речовини належать до високоенергетичних або енергонасичених конденсованих систем.

Перехід вибухової речовини з початкового, наприклад, конденсованого стану в кінцевий – газоподібний здійснюється з великою швидкістю, що перевищує швидкість звуку. Така форма хімічного перетворення вибухової речовини називається детонацією. Якщо хімічна реакція протікає зі швидкістю, меншою швидкості звуку, то таку форму перетворення називають горінням.

Вибух – швидкоплинний процес термодинамічної незворотної зміни речовини, який супроводжується звільненням значної кількості енергії в обмеженому об'ємі та призводить до руйнування, ущільнення і переміщення навколишнього середовища.

Вибухи класифікують за походженням енергії, що виділилася на:

- хімічні;
- фізичні;
- електромагнітні;
- кінетичні;
- ядерні;
- вибухи наднових зірок, галактик.

Відмінні ознаки вибуху ВР:

- надзвукова швидкість виділення енергії,
- висока об'ємна концентрація енергії,
- екзотермічність процесу,
- утворення великої кількості газоподібних продуктів.

Хімічне перетворення речовини є обов'язковою умовою хімічного вибуху. Причому поширення фронту детонації по вибуховій речовині обумовлено трьома різними факторами – стиском, розігрівом і хімічними реакціями. Єдиної думки, які саме хімічні процеси слід вважати вибухом, немає. Це пов'язано з тим, що високошвидкісні процеси можуть протікати у вигляді детонації або горіння. У зв'язку з цим зазвичай до хімічних вибухів відносять різні швидкоплинні процеси без уточнення їх характеру. Однак існує більш жорсткий підхід до визначення хімічного вибуху виключно як детонаційного.

На практиці вибухи, що мають фізичну природу, зустрічаються значно рідше, ніж вибухи хімічні. До фізичних належать вибухи, при яких виділення енергії обумовлено фізичними процесами. Прикладами можуть служити вибухи стиснених газів або вибухи, що пов'язані з утворенням перегрітих рідин. Енергія, що виділяється під час вибуху, визначається процесами, пов'язаними з адіабатичним розширенням парогазових середовищ і перегрівом рідин.

При фізичних вибухах, викликаних, наприклад, вибухом парового котла, балонів з газом і т. п., змінюється тільки фізичний стан речовини із збереженням сталості її хімічного складу. У гірничій справі прикладами таких вибухів є відбійка вугілля за допомогою металевих патронів «кардокс», що містять рідку вуглекислоту, або металевих патронів «ердокс», що містять стиснене повітря.

Електромагнітним вибухом є, наприклад, вибух конденсатора, вибухи металевого дроту, фольги або інших електропровідних матеріалів у результаті імпульсного пропускання електричного струму високої густини. Сильні вибухи можливі при фокусуванні потужного лазерного імпульсу.

Прикладами кінетичного вибуху є високошвидкісний співудар небесних тіл з поверхнею планет. Так, на створення відомого кратера в Арізоні знадобилася енергія вибуху приблизно 1 Мт тротилу – $3 \cdot 10^{15}$ Дж. За розрахунками енерговиділення вибух Тунгуського метеорита був у 10 разів більше. Судячи зі збережених слідів на поверхні Землі внаслідок падіння великих небесних тіл, енергія, що виділилася після зіткнення, перевищувала енергію утворення Арізонського кратера в мільйони разів.

Починаючи з середини 40-х років 20-го сторіччя, були здійснені вибухи ядерних і термоядерних зарядів, які за потужністю становили від кількох кілотонн до 50 мегатонн тротилового еквівалента. Ядерні й атомні вибухи відбуваються за рахунок енергії поділу ядер урану або плутонію (ланцюгова реакція поділу). Більш потужні термоядерні (водневі) вибухи відбуваються за рахунок синтезу ядер гелію з важких ізотопів водню (дейтерію, тритію або їх сумішей). Характеристичний час ядерного вибуху звичайної бомби становить близько 0,5 мкс. Час вибуху водневого заряду триває секунди. Принциповою відмінністю водневого заряду є відсутність критичної маси. При вибуху водневого заряду виділяється в 4,2 раза більша питома енергія, ніж при поділі важких ядер.

Одним з найграндіозніших вибухів у природі можна вважати вибухи наднових зірок, галактик з неймовірно потужним виділенням енергії. До вибуху найбільшого масштабу належать космологічний Великий вибух, який дав початок утворенню матерії та різних форм життя у Всесвіті.

Характерною рисою будь-якого вибуху є те, що енергія, яка виділяється, переходить у механічну роботу, яку здійснюють стислі й нагріті гази, що були до вибуху (фізичний вибух) або утворилися в момент вибуху (хімічний вибух). Температура ядерного вибуху становить до декількох мільйонів градусів, а термоядерного – до одного мільярда градусів. Звісно такі вибухи супроводжуються надзвичайно сильним стисненням і розігрівом навколишнього середовища.

1.1. Ударні хвилі

Характерною ознакою вибуху є утворення ударної хвилі (УХ) в середовищі, що примикає до місця вибуху (термін «ударна хвиля» вперше введений Б.О. Ріманом). Причиною виникнення УХ є швидке розширення (з надзвуковою швидкістю в даному середовищі) газів або пари, що містилися до вибуху або виникли в системі в момент вибуху.

Висока швидкість виділення енергії як наслідок високих швидкостей зміни стану речовини і вельми високий тиск (від десятків до сотень тисяч атмосфер) стиснених газів зумовлює особливий швидкоплинний руйнівний характер механічної дії вибуху.

Стиснуті гази вибуху (продукти детонації) швидко розширюються, викликають у будь-якому середовищі (газовому, рідкому, твердому), оточуючому заряд ВР, стрибок тиску або хвилю збурень, яку називають **ударною хвилею**.

Утворення ударної хвилі в газі можна продемонструвати за допомогою поршня (рис. 1.1).

При швидкості руху поршня, що не перевищує швидкість звуку ($V_{\text{п}} < V_{\text{р}}$), у газі виникає збурення у вигляді плоскої звукової хвилі (хвилі Маха) (рис. 1.1, а), яка рухається перед поршнем зі швидкістю звуку.

У тому випадку, якщо швидкість поршня перевищить швидкість звуку ($V_{\text{п}} > V_{\text{р}}$), у газі виникне ударна хвиля, що йде від поршня, при цьому виникає стрибок тиску і зона високого тиску поширюється до поршня. У газі за фронтом

ударної хвилі відбувається переміщення частинок зі швидкістю руху поршня $u = V_{\text{п}}$, (рис. 1.1, б).

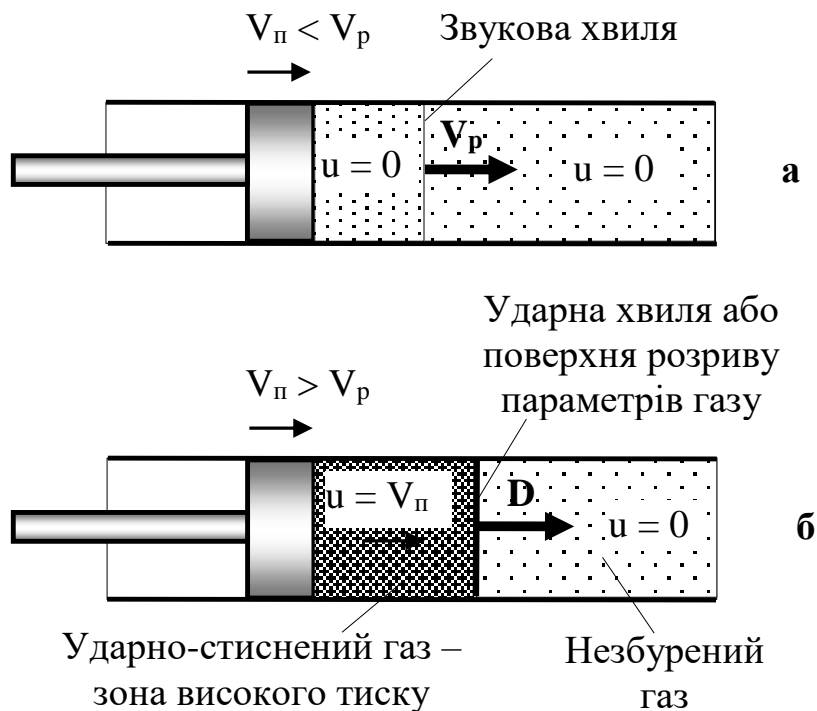


Рис. 1.1. Утворення ударної хвилі на прикладі переміщення поршня в циліндрі: u – масова швидкість частинок; D – швидкість ударної хвилі; $V_{\text{р}}$ – швидкість звуку (поздовжньої пружної хвилі); $V_{\text{п}}$ – швидкість поршня

Ширина фронту ударної хвилі в повітрі на рівні моря складає 0,025 мкм (для порівняння: довжина інфрачервоної хвилі приблизно дорівнює 1 мкм), а ширина фронту ударної хвилі, що утворюється при вибуху надкової зірки, може досягати декількох мільйонів кілометрів.

При поширенні ударної хвилі в будь-якому середовищі тиск, щільність і температура в збуреній області збільшуються в багато разів. Тому люди і тварини, які потрапили в зону дії ударної хвилі, гинуть, а споруди руйнуються. Крім цього, великої шкоди живим організмам і спорудам завдає потік повітря, що виникає за фронтом ударної хвилі. На рис. 1.2 показаний профіль ударної хвилі в координатах «тиск – відстань».

Швидкість поширення ударної хвилі в середовищі завжди перевищує швидкість звуку даного середовища. Таким чином, в середовищі ударна хвиля виникає завжди, якщо збурення в даному середовищі поширюються з надзвуковою швидкістю.

Лінійна залежність швидкості ударної хвилі від параметрів середовища записується так:

$$D = C + \lambda u, \quad (1.1)$$

де D – швидкість ударної хвилі; C – швидкість звуку в середовищі; λ – коефіцієнт (знаходять за таблицями або визначають експериментально); u – масова швидкість частинок за фронтом ударної хвилі.

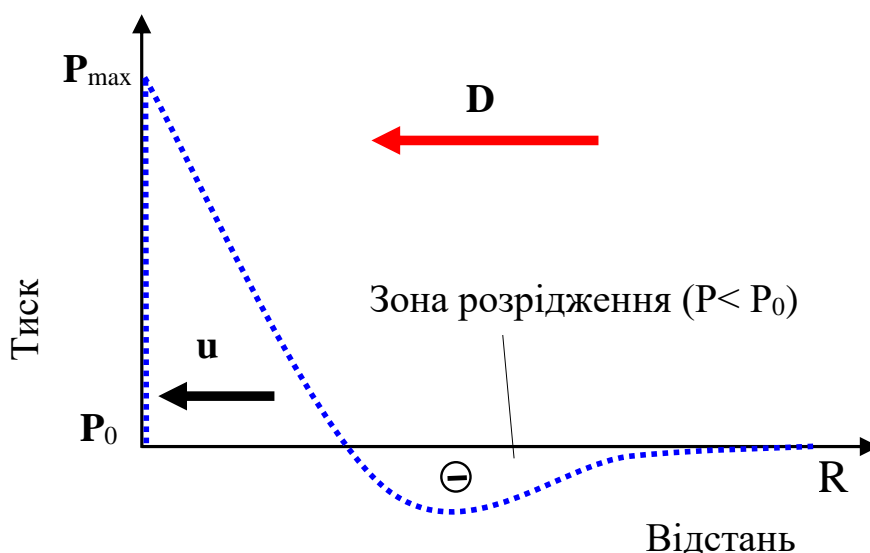


Рис. 1.2. Профіль тиску при вибуху в ідеальному середовищі: в зоні розрідження потік речовини спрямований убік, протилежний руху фронту ударної хвилі, тобто до джерела вибуху. Стрілками показаний напрямок руху фронту ударної хвилі й частинок навколишнього середовища

Залежність зміни значення максимального тиску P_{max} від часу обернено пропорційна відстані ($1/R$). Це свідчить про швидке зменшення профілю тиску ударної хвилі в середовищі залежно від відстані. На рис. 1.3 наведена схема, що зображає вибух заряду ВР в моменти часу t_1 , t_2 і t_3 .

Газ, що утворився під час вибуху, «штовхає» вибухову хвилю з крутим фронтом, тиск у якому падає зі збільшенням відстані. Газ розширюється до кінцевого коливного об'єму, в той час як об'єм повітря, що охоплюється і нагрівається ударною хвилею, зростає зі збільшенням відстані – ударна хвиля втрачає свою енергію і поступово згасає.

На деякій відстані від заряду ВР у навколишньому середовищі поширюється ударна хвиля, яка з відстанню поступово перетворюється в звукову, тобто $D \rightarrow C$ при $u \rightarrow 0$.

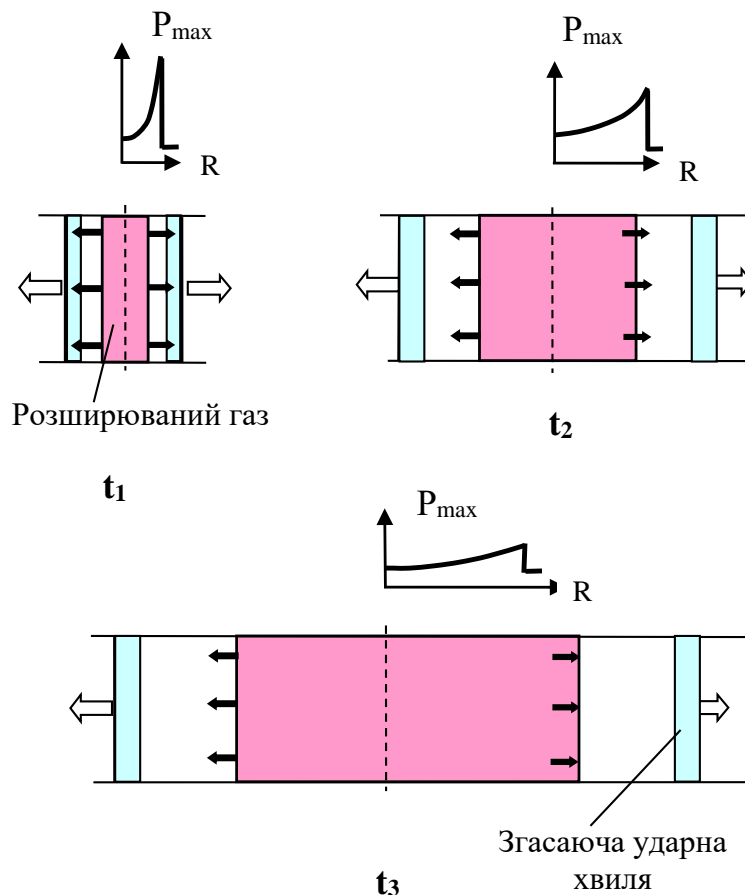


Рис. 1.3. Схематичне зображення розвитку вибуху циліндричного заряду ВР

Ударна хвиля відрізняється від пружної тим, що створює потік речовин, який надходить за її фронтом. Відстань, на яку ударна хвиля послаблюється до звукової, у газі набагато більша, ніж у твердій речовині. При заданому діаметрі заряду ця відстань в повітрі становить кілька десятків і навіть сотень діаметрів заряду, у воді – близько 3...5 діаметрів, у твердому тілі – менше 2-х діаметрів.

При вибуху однакової вибухової речовини однакової маси у вакуумі, повітрі, воді й у гірській породі швидкості відповідних ударних хвиль і тиску можна записати такими нерівностями:

$$D_{\text{гір.п.}} > D_{\text{вод.}} > D_{\text{повітря}} > D_{\text{вак.}}, \quad (1.2, \text{ а})$$

$$P_{\text{гір.п.}} > P_{\text{вод.}} > P_{\text{повітря}} > P_{\text{вак.}} \quad (1.2, \text{ б})$$

Великий тиск і швидкість, з якою виділяються стислі гази при розширенні, створюють у навколишньому середовищі ударні хвилі. На контактному кордоні «ВР–середовище» (газ, рідке, тверде та ін.) виникає високий тиск за рахунок виходу на поверхню детонаційної хвилі. Кордон «ВР–середовище» починає переміщатися з великою швидкістю. Середовище при цьому ущільнюється, відбувається його руйнування. У табл. 1.1 наведені початкові параметри вибуху литого заряду тринітротолуолу в твердих, рідких і газоподібних середовищах.

Таблиця 1.1

Початкові параметри вибуху в різних середовищах [8]

Середовище	Тиск на кордоні «ВР–середовище», Па	Швидкість кордону «ВР–середовище», м/с	Початкова швидкість ударної хвилі в середовищі, м/с
Вакуум	0	13000	0
Повітря	$0,57 \times 10^8$	6450	7100
Вода	136×10^8	2180	6100
Вапняк	185×10^8	1310	6670
Мармур	237×10^8	1220	7060
Граніт	251×10^8	1290	7280
Сталь	300×10^8	730	4300

Фронт ударної хвилі, що поширюється з надзвуковою швидкістю в середовищі, являє собою поверхню розриву, що розділяє два принципово різних термодинамічних стани і рухів в одному середовищі – поверхня, на якій стрибком змінюються тиск, температура і щільність.

Умови на фронті ударної хвилі (або «на ударному стрибку») особливо зручно записувати в такому вигляді:

закон збереження маси:

$$\rho_0/\rho_1 = D - (u_1 - u_0) / (D - u_0), \quad (1.3)$$

закон збереження імпульсу і кількості руху:

$$(D - u_0)^2 = (1/\rho_0)^2 \cdot (P_1 - P_0) / [(\rho_1 - \rho_0) / \rho_1 \cdot \rho_0], \quad (1.4)$$

закон збереження енергії (рівняння Гюгонію):

$$E_1 - E_0 = 0,5 \cdot (P_1 + P_0) (v_0 - v_1). \quad (1.5)$$

Тут індексом «0» і «1» позначені відповідно параметри незбуреного середовища і величини, що характеризують стан речовини, стисненої ударною хвилею.

Зазвичай вважається, що незбурене середовище знаходиться в стані спокою. Але при виведенні рівнянь збереження маси (1.3), імпульсу (1.4) та енергії (1.5) передбачалося, що мається початкова швидкість u_0 . Цей більш загальний характер вирішення в деяких випадках виявляється корисним.

Якщо вважати, що незбурене середовище покоїться ($u_0 = 0$), то початковим тиском P_0 можна знехтувати і рівняння (1.3) – (1.5) переписати в більш зручному для розрахунків вигляді:

$$\rho_0 D = \rho_1 (D - u_1), \quad (1.6)$$

$$P_1 = \rho_1 D u_1, \quad (1.7)$$

$$E_1 = \frac{1}{2} P_1 (v_0 - v_1), \quad (1.8)$$

де v_0 і v_1 – відповідно початковий і кінцевий об'єми; E_1 – внутрішня енергія; P_1 – тиск у середовищі; $v_0 = 1/\rho_0$; $v_1 = 1/\rho_1$.

Закони збереження маси та імпульсу пов'язують між собою чотири параметри фронту ударної хвилі: швидкість поширення ударної хвилі по незбудженій речовині D , стрибок масової швидкості u , що дорівнює швидкості руху стисненої речовини відповідно до незбудженої, тиск P і питомий об'єм v або щільність ρ .

Математичні рівняння (1.3) – (1.8), що зв'язують термодинамічні величини до і після проходження ударної хвилі, називаються **ударною адіабатою** або **адіабатою Гюгоніо**. Зазвичай ударну адіабату графічно зображують у координатах $P-v$, $P-u$, $D-u$.

Аналіз адіабати Гюгоніо показує, що тиск, температура і швидкість газу після проходження стрибка стиснення необмежено збільшуються при збільшенні інтенсивності стрибка. Щільність збільшується і залежить від молекулярних властивостей середовища, але не залежить від того, наскільки сильно зростає інтенсивність стрибка. Наприклад, для повітря максимальна щільність зростає в 6 разів. Однак мова тут йде про одноразовий вплив ударної хвилі. Оскільки адіабата Гюгоніо залежить від двох параметрів P і v , то стиснення декількома послідовними ударними хвилями не буде адекватним результатам одноразового стиснення. Одноатомний газ можна стиснути в чотири рази одноразовою сильною ударною хвилею, а двома наступними, одна за одною, сильними хвилями – у 16 разів.

Найбільш значний внесок в експериментальні дослідження ударної стисливості різних речовин зробили такі вчені: Л.В. Альтшулер, С.Б. Кормер, К.К. Крупніков, Р.Ф. Трунін, М.М. Павловський, М.О. Подурець, В.М. Зубарєв, В.Д. Урлін, М. Уолш, Р. Крістіан, Б. Алдер, Д. Банкрофт, Дж. Вакерлі, С. Марш, Д. Меллорі, Р. Маккуїн, М. Райс і багато інших.

Тиск у газі пропорційний температурі, тобто носить тепловий характер. Для газу сильна ударна хвиля характеризується тиском за фронтом $100 \cdot 10^5$ Па і більше. При такому тиску досягається граничне стиснення газу. Швидкість сильної ударної хвилі значно перевищує швидкість звуку в незбудженому газі, а масова швидкість частинок газу за фронтом ударної хвилі наближається до швидкості ударної хвилі: $u \rightarrow D$.

Надлишковий тиск на фронті ударної хвилі в повітрі при вибуху наземного заряду WR масою q при $R \geq 12r_3$ обчислюється за формулою:

$$P_{\text{HA3}} = 10^5 \left(\frac{1,06q^{1/3}}{R} + \frac{4,3q^{2/3}}{R^2} + \frac{14q}{R^3} \right), \text{ Па}, \quad (1.9)$$

де R – відстань від заряду до вимірюваної точки.

Якщо заряд BP вибухає над поверхнею землі, то тиск можна знайти з такого виразу:

$$P_{\text{п}} = 10^5 \left(\frac{0,84q^{1/3}}{R} + \frac{2,7q^{2/3}}{R^2} + \frac{7q}{R^3} \right), \text{ Па}. \quad (1.10)$$

Надлишковий тиск на поверхні перешкоди при відображенні ударної хвилі $P_{\text{відобр}}$ розраховується за формулою:

$$P_{\text{відобр}} = 2P_{\text{п}} + 6P_{\text{п}} / (P_{\text{п}} + 7P_0), \text{ Па}, \quad (1.11)$$

де $P_{\text{п}}$ – тиск ударної хвилі в повітрі; P_0 – атмосферний тиск або початковий тиск в середовищі.

Важливим параметром повітряних ударних хвиль є час дії фази стискання $t_{\text{ф.ст}}$:

$$t_{\text{ф.ст}} = 1,7 \cdot 10^{-3} \times \sqrt{R \cdot \sqrt[6]{q}}, \text{ с}, \quad (1.12)$$

де q – маса заряду вибухової речовини, кг; R – відстань від джерела збурення (від заряду) до точки вимірювання, м.

Відзначимо деякі основні особливості ударних хвиль [8].

1. На фронті ударної хвилі параметри термодинамічного стану і руху в одному середовищі змінюються стрибком.

2. За фронтом ударної хвилі в напрямку його руху завжди переміщається середовище.

3. Швидкість ударної хвилі завжди перевищує швидкість поздовжніх пружних хвиль (швидкості звуку) в незбудженому середовищі.

4. Швидкість ударної хвилі менше швидкості звуку в ударно-стислому середовищі. Наприклад, хвилі розрідження завжди наздоганяють фронт ударної хвилі.

5. Швидкість ударної хвилі збільшується зі збільшенням тиску на її фронті.

6. Ударна хвиля переміщається у вигляді одиночного стрибка ущільнення.

7. Енергія ударної хвилі витрачається порівну на створення кінетичної енергії руху ударно-стислого середовища і на збільшення її внутрішньої енергії.

8. Час існування тиску ударного стиснення як правило обмежений декількома мікросекундами і змінюється під дією хвиль розвантаження.

1.2. Форми хімічного перетворення вибухових речовин

Залежно від типу вибухової речовини, умов збудження (ініціювання) процеси хімічного перетворення можуть проходити в різних формах з різними швидкостями, відмінними на порядок і більше. Основні форми хімічного перетворення, що мають у своїй основі неконтрольоване окиснення різних горючих речовин з виділенням значної кількості теплової енергії залежно від механізму їх перебігу, поділяються на дві групи: дефлаграційні (всі дозвукові процеси) і детонаційні (надзвуковий процес).

Дефлаграція – особливий тип горіння, коли полум'я поширюється з високою, але дозвуковою швидкістю. При цьому утворюються досить сильностислі гази, здатні здійснювати значну механічну роботу. Виникає надлишковий тиск до кількох атмосфер. Дефлаграція являє собою хвилю розрідження, а продукти горіння прискорюються далеко від хвилі в протилежному напрямку розповсюдження хвилі горіння. Самопідтримуючі дефлаграційні режими нестійкі [5]. Існує велика кількість механізмів розвитку цих нестійкостей, що забезпечують збільшення швидкості поширення хвилі та, як наслідок, при відповідних граничних умовах – перехід у детонацію.

Термічне розкладання ВР є гомогенним процесом, що проходить у всьому об'ємі заряду при даній температурі. Швидкість термічного розкладання ВР вимірюється числом молей, що реагують в одиницю часу в одиниці об'єму – моль/(с·см³). Таким чином, швидкість терморозкладання відповідає даній температурі й однакова в усіх точках об'єму ВР. Основні продукти розкладання – оксиди горючих елементів (СО, СО₂, Н₂О й ін.), азот, альдегіди, кислоти тощо. Термічне розкладання може завершитися за певних умов тепловим вибухом.

Горіння ВР є самостійно поширюваним гетерогенним спрямованим процесом з вираженою зоною хімічної реакції, яка розділяє вихідну речовину і продукти горіння. Як і у випадку термічного розкладання, продуктами горіння є СО, СО₂, Н₂О, N₂. Горіння протікає за рахунок хімічних реакцій між окиснювачем і

горючими компонентами, що містяться у складі ВР, і визначається механізмом передачі енергії із зони хімічної реакції в шар вихідної речовини, який до неї примикає.

Оскільки основні складові процесу тепло- і масопереносу при горінні (конвекція, дифузія, теплопровідність) повільні, то й процес горіння проходить повільно – з дозвуковою швидкістю. Зазвичай лінійна швидкість горіння становить кілька міліметрів на секунду (рідко десятки і сотні міліметрів на секунду). Швидкість горіння суттєво залежить від маси ВР і зовнішніх факторів – тиску і температури. У вельми обмеженому просторі тиск підвищується швидко і горіння може перейти в детонацію. У зв'язку з цим знищення ВР спалюванням проводять на відкритих майданчиках.

Відома емпірична залежність лінійної швидкості горіння (V) від тиску обчислюється за формулою:

$$V = a + bP^{\nu}, \quad (1.13)$$

де P – тиск; a і b – постійні; ν – показник ступеня, що змінюється від 0 до 1. При $\nu > 1$ можливий перехід горіння в детонацію.

Основним видом реакції повільного термічного розкладання ВР є мономолекулярний розпад, на який накладаються вторинні реакції за участю продуктів первинного розпаду. Прискорення реакції розпаду особливо активно відбувається при підвищенні температури ВР. Якщо кількість тепла, що виділяється при реакції, переважає над кількістю тепла, що відводиться у навколишнє середовище, то можливо прогресивне нагрівання ВР і в подальшому значне зростання реакції, а в підсумку – **тепловий вибух**. Така критична точка називається температурою спалаху ВР, або, іншими словами, та мінімальна температура, при якій протягом умовно заданого відрізка часу виділення тепла стає більше тепловідводу і хімічна реакція внаслідок самоприскорення набуває характеру вибухового перетворення, називається **температурою спалаху**.

Стаціонарне горіння – являє собою процес хімічного перетворення, що поширюється з малими швидкостями (міліметри на секунду) та охоплює послідовно шари речовини. Поширення горіння відбувається шляхом теплопередачі. Зона реакції при пошаровому горінні зосереджена в тонкому шарі – **фронті по-**

лум'я (полум'я – область горіння, що випускає видиме світло). У разі, якщо відведення продуктів горіння ускладнено, збільшується поверхня горіння, або якщо була початкова швидкість горіння високою, то повільне горіння може перейти в детонацію або в вибухове горіння. При відомих умовах детонація або вибухове горіння можуть перейти в повільне (стаціонарне). Наприклад, при переуцільненні ВР у результаті підвищеного тиску. Такі процеси в шахтах називають **вигоранням зарядів у шпурах**.

Детонація – процес хімічного перетворення ВР, який поширюється з постійною швидкістю, що перевищує швидкість звуку в даній речовині, і супроводжується виділенням теплоти (**детонація** – походить від французького *detonner*: фальшивити, тобто процес був названий «фальшивим горінням»). На відміну від горіння детонація являє собою комплекс потужної ударної хвилі та її фронт зони хімічного перетворення речовини, який іде за нею.

Вихідна структура вибухових речовин є термодинамічно метастабільною. Перед досягненням більш стабільного стану з меншою енергією система повинна пройти через проміжний менш стабільний стан з підвищеною енергією, це означає як би наявність бар'єру, що перешкоджає безперервному перетворенню, якщо при цьому не забезпечена необхідна активація процесу. На рис. 1.4 як приклад ілюстрації процесу – графічно зображена зміна вільної енергії ВР у ході хімічного перетворення.

Хімічні перетворення вибухової речовини в кінцеві продукти вибуху можуть бути ініційовані шляхом підведення тепла, різних видів механічної енергії або іншими видами впливів (за рахунок енергії активації ΔF_A).

У вихідному стані ВР має деяку надлишкову внутрішню енергію, яка і визначає її термодинамічну метастабільність. Перехід з вихідного стану, який відповідає перетворенню в більш стабільне, стримується енергетичним бар'єром – ΔF_A . Для системи (ВР) найменший приріст енергії ΔF_A , що дозволяє перейти через бар'єр, являє собою вільну енергію активації реакції, і система (ВР) з максимальною вільною енергією F_A є нестабільною, перебуваючи в «перехідному» або «активованому» стані.

Мінімальний зовнішній імпульс, здатний, наприклад, ініціювати перехід «вибухова речовина → продукти вибуху», для різних вибухових речовин буде різним і відповідати величині ΔF для кожної ВР. Так, для первинних ініціюючих ВР ця величина буде набагато більше, ніж для звичайних бризантних ВР. Тому

для збудження реакції вибухового перетворення в первинних ініціюючих ВР потрібна менша енергія активації ΔF_A , ніж для бризантних вибухових речовин.

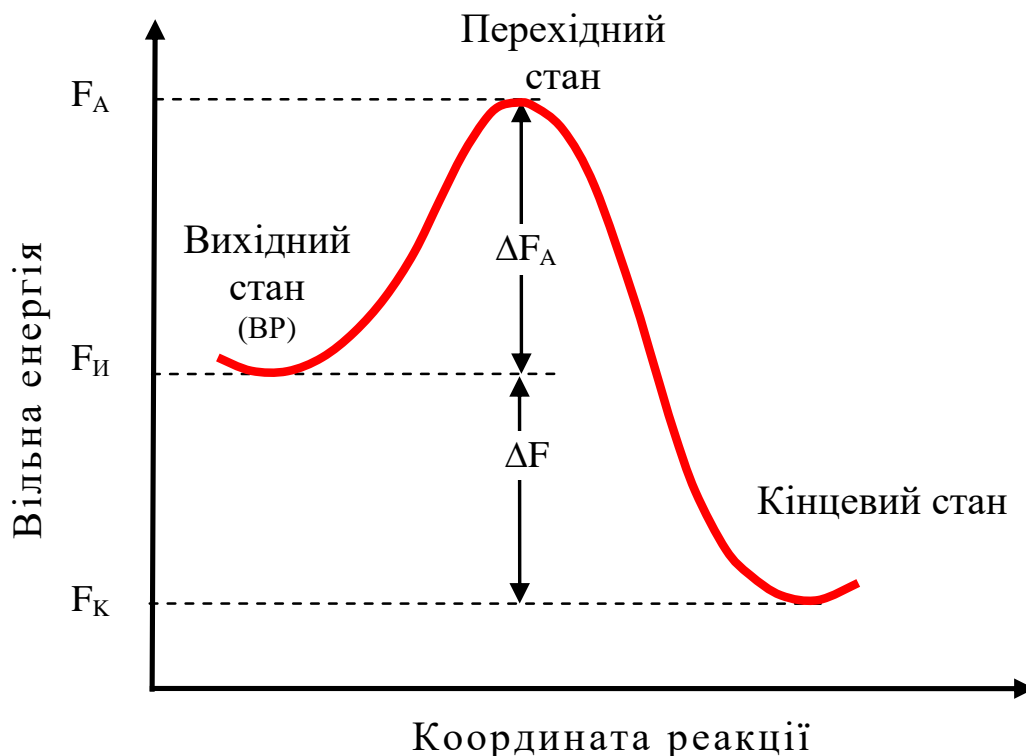


Рис. 1.4. Зміна вільної енергії системи (ВР) при переході її в стабільний стан: ΔF_A – вільна енергія активації; ΔF – рушійна сила процесу переходу. Координатою реакції є будь-яка змінна величина, що служить мірою розвитку реакції

При вибуху вибухові речовини перетворюються на хімічно стійкі системи і це перетворення може проходити з різною швидкістю. Під швидкістю вибухового перетворення розуміють швидкість поширення цієї реакції по вибуховій речовині. Швидкість вибухового перетворення для даної ВР є постійною величиною. Залежно від хімічної природи ВР, її фізичних характеристик, геометричних параметрів (для промислових ВР – величини розмірів частинок, вмісту вологи та інших характеристик) швидкість вибухового перетворення коливається у великих межах (від 1,0 до 10 км/с).

1.2.1. Детонація вибухових речовин

Одним з перших, хто почав вивчати фізику горіння і вибуху, був Т. Гротгус. У декількох роботах, опублікованих у період з 1809 по 1818 рік,

Гротгус установив ряд положень про вплив розрідження, форми посудини і домішок на протікання реакцій у газових сумішах. Гротгус визначив, що суміш газів перестає запалюватися, якщо вона знаходиться у вузькій трубочці. У 1815 році Г. Деві, використавши це відкриття, створив конструкцію безпечної шахтарської лампи, у якій мідна сітка з дрібними отворами перешкоджає поширенню полум'я з внутрішнього простору лампи в атмосферу шахти.

У 1881 році, досліджуючи процеси горіння газів у трубах, чотирма французькими вченими П. Бертло, П. Вьель і, незалежно від них, Е. Малляром і А. Лешательє експериментально було відкрито явище детонації в газах. З іменами цих чотирьох дослідників пов'язано доведення існування певної граничної швидкості вибухів для даної вибухової суміші. Виявилось, що займання може розповсюджуватися із швидкістю кілька тисяч метрів на секунду. За теорією Бертло при вибухах виникають два роди хвиль – вибухова і звукова. Він вважав, що вибухова хвиля, одного разу утворившись, поширюється без ослаблення. Звукова хвиля теж може передавати миттєвий тиск, але поступово втрачає свою інтенсивність.

Теорія вибуху вперше була опублікована К.Л. Бертоллем (1883), який припустив, що поширення вибухової хвилі по вибуховій речовині відбувається від шару до шару з постійною інтенсивністю в результаті одночасної дії сильного стиснення й нагрівання.

Службовою формою хімічних перетворень промислових ВР є детонація, що являє собою самостійно підтримуючий процес переміщення по ВР з надзвуковою швидкістю ударного фронту (стрибка тиску), що супроводжується хімічним перетворенням речовини. Імпульсом для початку розвитку хімічної реакції є, як правило, ударна хвиля, порушувана вибухом капсуль-детонатора або електродетонатора, тобто проміжних детонаторів. Таким чином, хімічна реакція виникає в результаті адіабатичного стиснення і розігрівання речовини в ударному фронті.

Детонаційної хвилею називають комплекс, що складається з ударного фронту і зони хімічної реакції.

Залежно від типу ВР тиск на ударному фронті може бути від десятків атмосфер (газові вибухові суміші) до сотень тисяч (бризантні ВР). У режимі стаціонарного поширення швидкість фронту детонації може для різних ВР становити від 1 до 10 км/с. Тепло, що виділяється при детонаційній формі хімічного перет-

ворення, компенсує втрати енергії, що йдуть на стиск і рух речовини, забезпечуючи постійність параметрів детонаційної хвилі. Слід підкреслити, що швидкість детонації не залежить від початкового імпульсу; вона є характеристикою і постійною величиною даної ВР. Ділянку заряду від точки ініціювання до початку розповсюдження детонації зі стаціонарною швидкістю називають **ділянкою нестационарної детонації**.

Перша **гідродинамічна теорія детонації** була розвинена наприкінці ХІХ століття В.О. Міхельсоном (Росія), Д.Л. Чепменом (Англія) і Е. Жуге (Франція). Математична модель, створена ними, не враховувала кінетики хімічної реакції в детонаційній хвилі, а являла собою формально ударний фронт у вигляді поверхні розриву, що відокремлює вихідну ВР від продуктів вибуху.

Необхідність у теорії, здатної інтерпретувати межі детонації, ініціювала розвиток теоретичних досліджень, перші результати яких у період з 1940 по 1944 рік були опубліковані А.А. Грибом, Я.Б. Зельдовичем, Дж. Нейманом і В. Дерінгем. У другій половині ХХ століття дослідження в галузі теорії детонації проводили такі вчені, як Ю.Б. Харитонов, К.П. Станюкович, Л.Д. Ландау, О.Ф. Беляєв, В.К. Боболєв, А.Я. Апін, Г.Т. Афанасьєв, Б.І. Шехтер, П.Ф. Похил, А.М. Дрьомін, К.К. Шведов, В.С. Трофимов, В.М. Зубарєв, В.Ю. Клименко, М. Каупервейт, Л. Грін, Б. Тейлор і багатьох інших відомих науковців.

Відповідно до теорії Я.Б. Зельдовича, В. Дерінга і Дж. Неймана (називають теорією ЗДН) детонація зумовлена стисненням речовини в ударному фронті, потім шар ударно-стисненої речовини, що утворився, запалюється і горить зі швидкістю, що дорівнює швидкості ударного фронту. Ударна хвиля збуджує хімічну реакцію в речовині, а реакція підсилює ударну хвилю, поки не встановиться рівновага між енергією, що передається, і енергією, що розсіюється, тобто не встановиться стаціонарний режим поширення хвилі детонації. Дослідження процесів у такій установленій хвилі в одновимірному випадку є завданням **гідродинамічної теорії детонації**. З урахуванням енерговиділення при детонації основні співвідношення між початковими і кінцевими параметрами стану речовини, а також швидкістю детонації і масовою швидкістю руху продуктів хімічного перетворення за фронтом знаходяться із законів збереження маси, імпульсу та енергії у хвилі.

Екзотермічна реакція, що порушена механічним ударом, який передається від реагуючого шару до сусіднього, поширюється у вигляді хвилі тиску. Такий процес можливий лише за тієї умови, що хімічна реакція закінчується раніше,

ніж спаде тиск за рахунок хвилі розвантаження, що йде від вільної поверхні зі швидкістю звуку. Такий сценарій можливий тільки при дуже високих тисках, коли хвилі тиску переходять в ударну хвилю. Таким чином, в теорії ЗДН детонація являє собою поєднання ударної хвилі з зоною хімічної реакції (рис. 1.5).

Іншими словами, структура детонаційної хвилі враховує хімічну зону перетворення («хімпік») ВР у кінцеві продукти. Відповідно з такою моделлю початкова ВР з початковими параметрами P_0 і v_0 стискається в ударному фронті (точка В), розкладається і виходить із зони реакції (точка С) зі швидкістю, зменшеною на величину u , що дорівнює швидкості газоподібних продуктів вибуху.

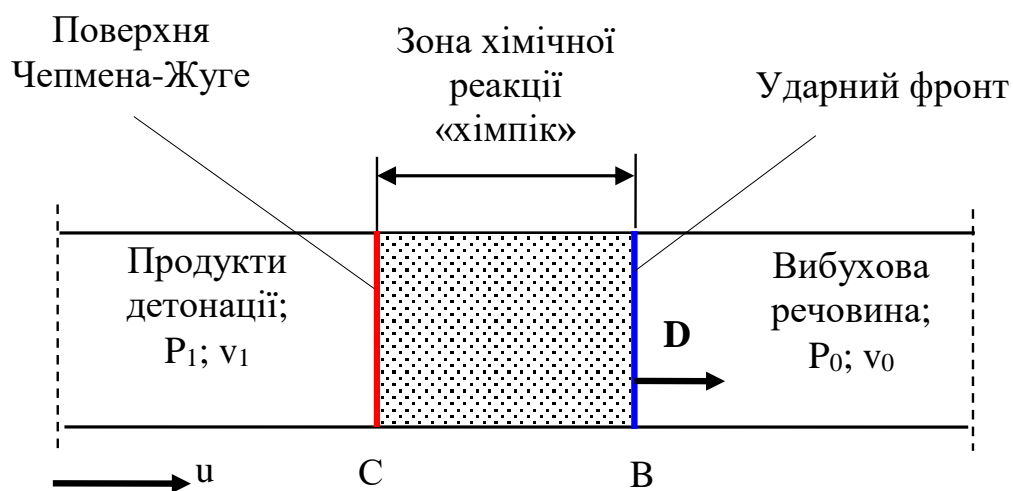


Рис. 1.5. Структура фронту детонаційної хвилі:

D – швидкість розповсюдження ударної хвилі;

u – масова швидкість ПВ

У разі одновимірного потоку закони збереження маси та імпульсу записують так:

$$\rho_0 D = \rho_1 (D - u), \quad (1.14)$$

$$\rho_0 D^2 + P_0 = \rho_1 (D - u)^2 + P_1, \quad (1.15)$$

де P_0 і P_1 – початковий тиск і тиск продуктів вибуху (ПВ) відповідно;

ρ_0 і ρ_1 – відповідно початкова щільність ВР і щільність ПВ, $\rho_0 = 1/v_0$ і $\rho_1 = 1/v_1$.

Нехтуючи тертям і теплопровідністю, закон збереження енергії можна записати у формі:

$$E_1 - E_0 - Q_{\text{виб}} = 0,5(P_1 + P_0)(v_0 - v_1), \quad (1.16)$$

де E_1, E_0 – відповідно питома внутрішня енергія в кінцевому і початковому станах. Вираз (1.16) є однією з форм запису рівняння ударної адиабати Гюгоніо для ПВ.

На P - v діаграмі детонаційної хвилі (рис. 1.6) початковому стану відповідає точка А, стисненню ВР ударним фронтом – точка В.

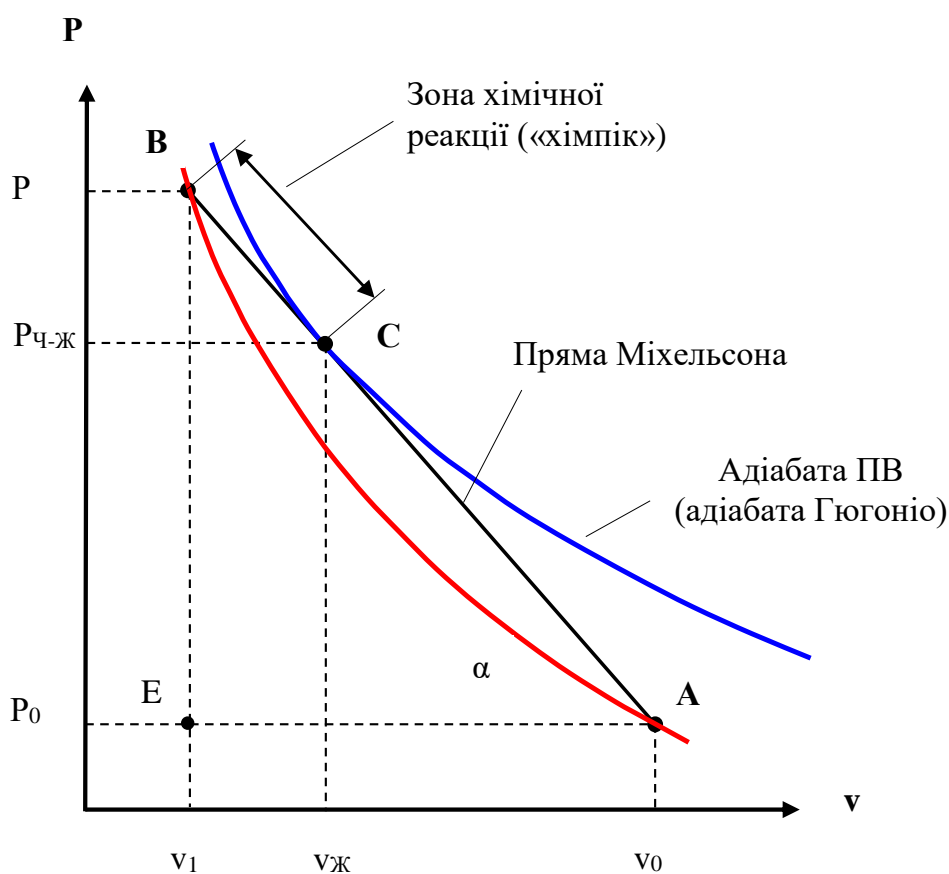


Рис. 1.6. P - v діаграма детонаційної хвилі

Екзотермічна реакція в заряді ВР, що почалася в ударному фронті (точка В), закінчується на **поверхні Чепмена-Жуге** (рис. 1.5) або в точці С (рис. 1.6). Точка С називається **точкою Жуге** або **Чепмена-Жуге**. Вона лежить на адиабаті продуктів вибуху (адиабаті Гюгоніо). Процес перетворення супроводжується роз-

ширенням ПВ, тому тиск ПВ падає, у точці Жуге тиск $P_{\text{Ж}}$ майже вдвічі нижче тиску P (в точці В).

Адіабатичному стиску речовини відповідає пряма АВ (рис. 1.7) з дуже малим нахилом відносно осі абсцис, що свідчить про вкрай малий час стиснення і малу товщину стисненого шару. Зоні «хімпіка» відповідає ділянка ВС на кривій спаду тиску. Точка С відповідає точці Жуге, ділянка за цією точкою характеризує спад тиску в продуктах детонації, що розширюються.

Таким чином, речовина в детонаційній хвилі послідовно проходить усі стани по шляху АВС.

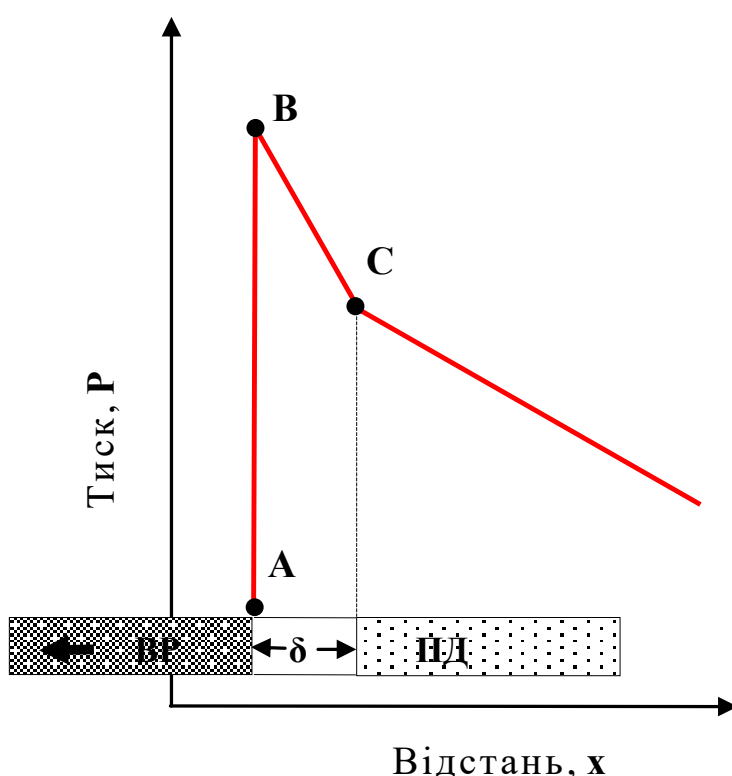


Рис. 1.7. Профіль детонаційної хвилі в координатах тиск-відстань

Зона стиснення в ударній хвилі дуже мала (порядку 0,1 мкм), зона хімічної реакції залежить від хімічних і фізичних властивостей ВР і має ширину від 0,5 мкм (для азиду свинцю) до 10 мм (для лускатого тротилу). Тривалість часу «хімпіка» у високощільному флегматизованому гексогені складає $\sim(2,5\pm 5)\cdot 10^{-9}$ с при максимальному тиску в хвилі – 40 ГПа.

Незважаючи на те, що описана модель не в усіх випадках відповідає спостережуваним явищам у структурі детонаційних хвиль, загальні залежності вписуються в гідродинамічну теорію шляхом просторово-часового усереднення параметрів детонаційної хвилі з неоднорідним фронтом.

Детонація за Чепменом-Жуге (точка С на діаграмі) задовольняє умову:

$$D = u + C, \quad (1.17)$$

де u – масова швидкість частинок продуктів детонації (ПД); C – швидкість звуку в ПД; D – швидкість детонації, що дорівнює швидкості переміщення зони хімічної реакції. Іншими словами, хімічна реакція у вибуховій речовині у формі детонації відповідає умові (1.17).

Якщо $D > D_{ч.ж}$, тиск може перевищити $P_{ж}$ і тоді говорять про «перетиснену» детонацію. При $D < D_{ч.ж}$ хвиля називається «недотисненою». Неможливість існування самопідтримуючої «перетисненої» детонаційної хвилі впливає з того, що в ній $D - U < C$, унаслідок чого хвиля розрідження, що йде при детонації за стрибком ущільнення, дожене фронт детонаційної хвилі. Тиск у ньому буде зменшуватися і досягне величини, що відповідає умовам Чепмена-Жуге.

На графіку залежності P від v (рис. 1.6) величина D визначається як нахил прямої Міхельсона, що зв'язує початковий стан із станом, який відповідає закінченню реакції. Таким чином, передбачається, що в умовах стійкої детонації пряма Міхельсона збігається із дотичною до кривої Гюгонію для продуктів вибуху. Відношення AE до BE є $\operatorname{tg}\alpha$.

При спільному вирішенні рівнянь (1.14) і (1.15) отримуємо формули для розрахунку **кінематичних параметрів детонації**:

$$D = v_0[(P_1 - P_0)/(v_0 - v_1)]^{0.5} = v_0 \operatorname{tg}\alpha,$$

$$u = [(P_1 - P_0) / (v_0 - v_1)]^{0.5},$$

$$(P_1 - P_0) / (v_0 - v_1) = -(\rho_0 D)^2.$$

При відомих значеннях ρ_0 і D визначають параметри стаціонарної детонації ВР:

$$P = \frac{\rho_0 D^2}{k+1}, \quad u = \frac{D}{k+1}, \quad (1.18)$$

де P – тиск у площині Чепмена-Жуге (точка С); k – показник політропи – входить до рівняння стану ПВ у вигляді політропи, $Pv^k = \text{const}$ [Л. Ландау, К. Станюкович]. Величина k може бути різною (1,5...4). Часто в розрахунках задається $k \approx 3$.

К.К. Шведов рекомендує при розрахунках тиску детонації користуватися такими значеннями k :

$k = 3,25 \dots 3,3$ – для тротилу при $\rho_0 = 1,59 \dots 1,63$ г/см³;

$k = 2,7 \dots 3,0$ – для гексогену та октогену.

Якщо до складу ВР входять інертні добавки (наприклад, NaCl або алюміній), то тиск можна розрахувати за формулою:

$$P = \frac{\rho_0 D^2}{k+1} \left(1 - \alpha \frac{\rho_0}{\rho_{0\text{доб}}}\right), \quad (1.19)$$

де α – вагова частка добавки у складі ВР; $\rho_{0\text{доб}}$ – початкова щільність добавки, г/см³.

Величина тиску в площині Чепмена-Жуге для багатьох вибухових речовин визначена з похибкою до $5 \cdot 10^8$ Па; для показника політропи (k) вважаються значення задовільними, якщо похибки не перевищують 0,1. У табл. 1.2 подані параметри в площині Чепмена-Жуге (параметри Жуге) для найбільш поширених ВР.

Таблиця 1.2

Параметри Жуге для ВР [10]

ВР	ρ_0 , г/см ³	D, км/с	U, км/с	P, ГПа	k
Тротил	1,53	6,83	1,66	17,7	3,10
Тротил	1,63	6,94	1,70	19,2	3,10
Гексоген	1,66	8,21	2,11	28,8	2,88
Гексоген	1,78	8,67	2,24	34,5	2,88
Гексоген флегматизований	1,66	8,12	1,94	27,0	–
ТЕН	1,66	7,95	2,05	27,0	2,90
ТЕН	1,76	8,26	2,12	30,8	2,90
ТЕН флегматизований	1,66	8,12	1,78	24,0	–
ТГ 50/50	1,68	7,65	1,92	24,6	2,98
ТГ 36/64 (сплав В)	1,73	7,92	1,97	27,0	3,02

1.2.2. Принцип Ю.Б. Харитона

При виведенні основних співвідношень детонаційної хвилі розглядалася одновимірною задачею для плоскої хвилі. У цьому випадку вся потенціальна хімічна енергія реалізується в детонаційній хвилі та визначає параметри детонації – її швидкість, тиск і т. д.

У разі багатовимірної течії за ударним фронтом параметри детонації в певних межах стають залежними від поперечних розмірів заряду. Це вперше показав Ю.Б. Харитон.

Оскільки зона хімічного перетворення в детонаційній хвилі має кінцеві розміри, то за час хімічної реакції, яка протікає на ділянці ВС (рис. 1.6 і 1.7), стислі газоподібні продукти, що утворилися, прагнуть до розширення в радіальному напрямку. У результаті цього в зону реакції з бічної поверхні заряду ВР входить хвиля розрідження (рис. 1.8), а охоплена нею маса речовини втрачається як постачальник енергії відносно ударного фронту. Оскільки глибина проникнення хвилі розрідження обернено пропорційна радіусу заряду, то відносні втрати енергії в детонаційній хвилі повинні зменшуватися зі збільшенням радіуса заряду.

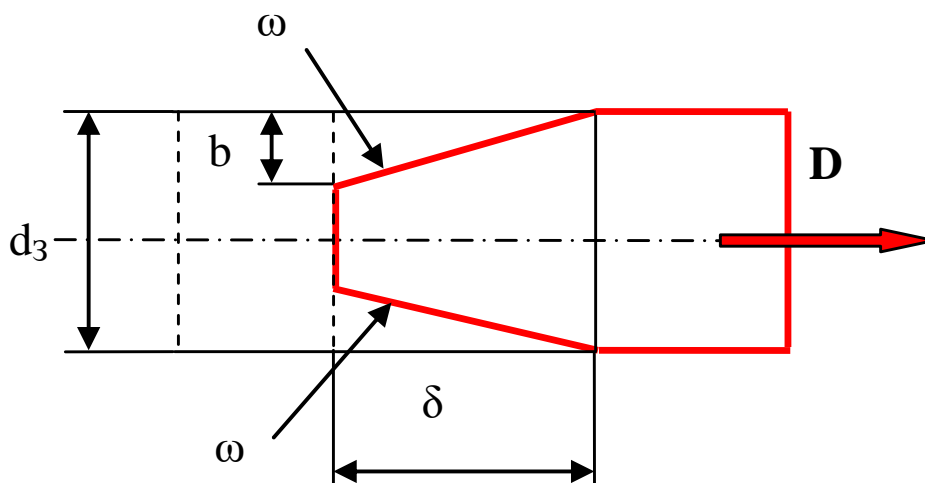


Рис. 1.8. Зона хімічної реакції в детонаційній хвилі:

d_3 – діаметр заряду ВР; ω – хвиля розрідження; $\omega = 0,5D_{ВР}$;

b – глибина проникнення хвилі розрідження;

δ – ширина зони реакції (ширина «хімпіка»); D – швидкість детонації ВР

Принцип Харитона: детонація може стійко поширюватися по заряду, якщо тривалість реакції у хвилі (τ) менше часу розкиду речовини в радіальному напрямку (Θ).

Виходячи з цього, можна знайти такий мінімальний діаметр заряду, при якому ще можливе стійке поширення детонації, тобто знайти критичний діаметр заряду $D_{кр}$.

Визначення умов стійкості. Тривалість хімічної реакції в детонаційній хвилі τ буде:

$$\tau = \frac{\delta}{D - U}$$

або, враховуючи, що $U = D/4$,

$$\tau = \frac{D}{k + 1} \approx \frac{1}{4}D,$$

матимемо

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{\delta}{D}. \quad (1.20)$$

Час розкиду речовини в радіальному напрямку складе:

$$\Theta = \frac{d_3}{2\omega},$$

отже,

$$d_{кр} = 2\omega\tau. \quad (1.21)$$

З урахуванням виразу (1.20) і того, що $\omega = D/2$, формулу (1.21) можна переписати таким чином:

$$d_{кр} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot D \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{\delta}{D} = \frac{4}{3} \delta, \quad (1.22)$$

тобто критичний діаметр близький за величиною до ширини зони хімічної реакції. При $d_3 > d_{кр}$ втрати енергії в детонаційній хвилі повинні зменшуватися, а параметри хвилі відповідно зростати, асимптотично наближаючись до максимуму.

Експериментально встановлено, що структура гетерогенних зарядів ВР (розмір частинок ВР, рідкий або твердий стан, монокристали або подрібнені фрагменти, рідкий або газоподібний наповнювач у порах та інші параметри) слабо впливає на час детонаційного перетворення, тобто на ширину «хімпіка» – δ . (Гетерогенна система – неоднорідна система, що складається з однорідних частин або фаз, розділених поверхнею розділу. Однорідні частини або фази можуть відрізнятися одна від одного за складом і властивостями). Однак відомо, що структура гетерогенних зарядів ВР робить сильний вплив на величину критичного діаметра їх детонації – $d_{кр}$. На рис. 1.9 показана залежність ширини «хімпіка» від тиску детонації зарядів тротилу, виготовлених різними способами.

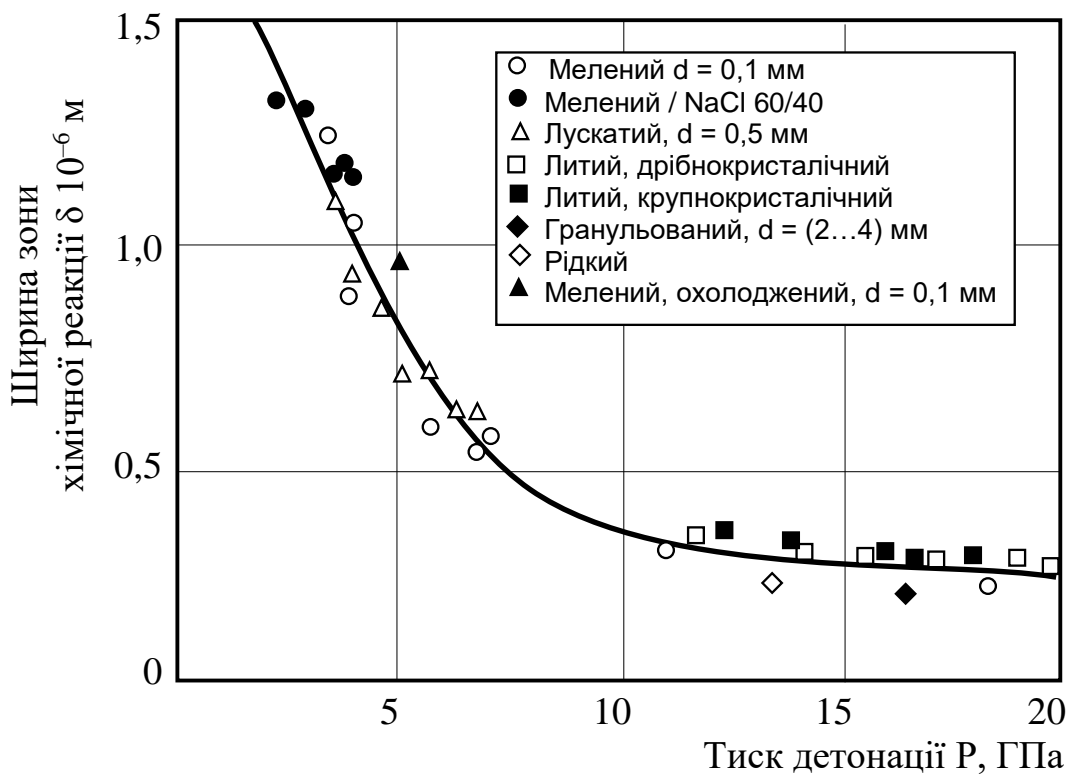


Рис. 1.9. Залежність ширини «хімпіка» від тиску детонації

Як видно з рис. 1.9 (дані А.М. Дрьоміна), величина δ практично не залежить від структури заряду тротилу, що суперечить теорії ЗДН, оскільки відповідно до цієї теорії критичний діаметр $d_{кр}$ має бути пропорційний δ (див. формулу 1.22).

Детонацію з максимальними параметрами для даної ВР і даної щільності називають **ідеальною детонацією або детонацією в ідеальному режимі**. Діаметр заряду, при якому параметри детонації близькі до максимальних (рис. 1.10), тобто до D_i , називають **граничним діаметром ($d_{гр}$)**.

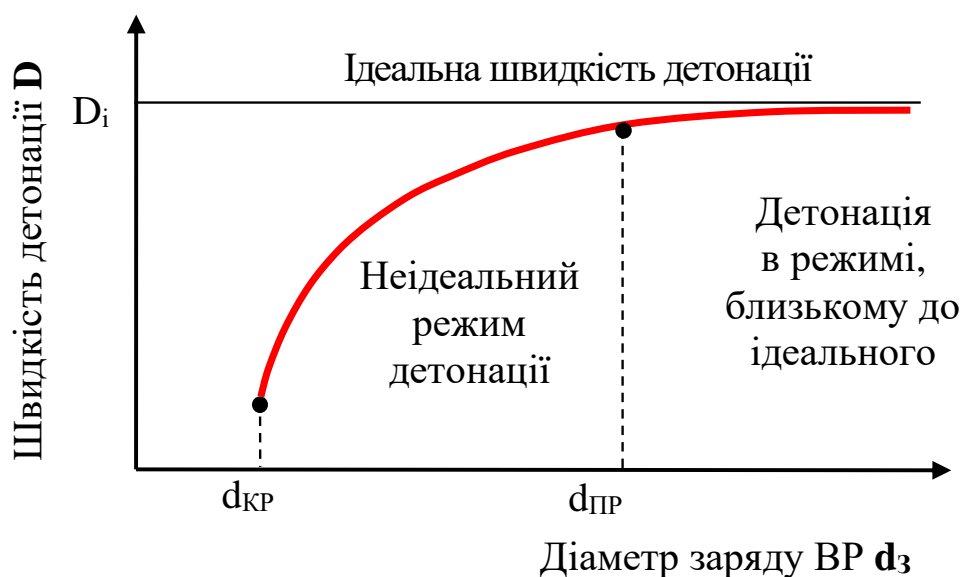


Рис. 1.10. Залежність швидкості детонації ВР від діаметра заряду

Детонацію, що протікає в зарядах з $d_{кр} < d_3 < d_{гр}$, називають неідеальною, або детонацією в неідеальному режимі. Зв'язок між швидкістю ідеальної детонації, шириною зони реакції і діаметром заряду виражається формулою, запропонованою Дубновим:

$$D = D_i \left(1 - \frac{\delta}{d_3} \right).$$

Величина критичного діаметра залежить від щільності ВР, наявності оболонки та її матеріалу, зовнішнього тиску, температури, зернистості, фазового стану, наповнювача пористого простору та інших параметрів.

1.3. Механізми та способи порушення детонації в зарядах ВР

Відомо, що вибухові властивості ВР визначають лише потенціальну можливість їх вибухового перетворення. Отже, для реалізації такої можливості необхідно провести такий вплив, що б він зміг викликати у вибуховій речовині хімічну реакцію у формі вибухового перетворення. Здатність ВР реагувати на зовнішній вплив шляхом хімічного перетворення у формі вибуху (або горіння) називають **чутливістю ВР до зовнішніх впливів**.

Чутливість ВР є найважливішою характеристикою, яка визначає принципову можливість технічного застосування ВР, сферу застосування, ступінь небезпеки при поводженні з даною ВР, особливо в тих випадках, коли зовнішні впливи носять випадковий характер.

Вимоги за чутливістю ВР різні залежно від призначення (застосування в тій чи іншій області) і принципової можливості технічного їх застосування (у випадках, коли зовнішні впливи носять випадковий характер: удар блискавки, електричний струм, вібрація та ін.).

Збудження детонації в заряді ВР здійснюється будь-яким початковим імпульсом певної величини, залежної від його виду. Цей імпульс, наприклад, може бути механічним (тертя, накол, удар та ін.), тепловим (відкритий вогонь, повітряна ударна хвиля, контактне нагрівання), променевим (рентгенівське, інфрачервоне, ультрафіолетове, лазерне), ударно-хвильовим, електричним, детонаційним імпульсом та ін. Крім цього, величина імпульсу визначається рядом фізико-хімічних і механічних характеристик вибухової речовини, які роблять сильний вплив і на величину критичного діаметра.

Таким чином, загальною для різного виду впливів є енергія, що отримується вибуховою речовиною. Реакція ВР на різні початкові впливи багато в чому залежить від властивостей самої ВР, від кількості одержуваної енергії та тривалості її введення в систему ВР (секунди, мілісекунди, мікросекунди, наносекунди), характеру й умови впливу початкового імпульсу, характеру розподілу енергії та ін.

У цілому енергетичний вплив у мікроструктурі ВР стимулює хімічне розкладання речовини, що переходить у горіння і вибух. Ці перетворення можна уявити як ряд прямуючих одна за одною стадій.

Першою стадією енергетичного впливу є розігрів деякого шару або окремих вогнищ у шарі ВР, що супроводжується розривом міжмолекулярних зв'язків

і слабких зв'язків у молекулі. Це стадія фрагментації, вона протікає з поглинанням тепла, утворенням радикалів, нових молекул та інших частинок. Якщо температура сягає деякого значення для даної ВР, то через певний час (τ) у вогнищі розкладання відбувається спалах ВР, тобто

$$\tau = V \exp(E/RT_c),$$

де V – емпірична константа (по суті це мінімально можливий період затримки запалення) значення $V = 10^{-8} \dots 10^{-13} \text{с}$ залежить від властивостей ВР і умов досліджень; E – енергія активації терморозпаду; R – універсальна газова постійна; T_c – температура спалаху ВР.

Тепло, що виділяється в процесі реакції йде на підтримку самої реакції. Остання екзотермічна стадія перетворень характеризується утворенням продуктів, що складаються головним чином з термодинамічних стійких кінцевих продуктів (в основному окислів вуглецю, водню, азоту, алюмінію та інших компонентів).

Температура є найсильнішим активатором хімічних реакцій. Енергія активації необхідна для досягнення ВР перехідного стану, що називається активованим (або перехідним) комплексом (рис. 1.4), який перетворюється на продукти реакції вже самовільно. Енергія активації дорівнює різниці енергій перехідного і вихідного станів.

Хімічне розкладання всіх ВР супроводжується виділенням великої кількості теплової енергії. Якщо швидкість виділення тепла перевищує швидкість тепла, що відводиться в навколишнє середовище, то реакція прискорюється, різко збільшується ймовірність займання і вибуху (тепловий вибух). Вперше механізм теплового вибуху досліджував Вант-Гофф. Так причиною виникнення вибуху азиду свинцю (у цієї ВР немає окиснювача і пального) є одночасна реакція двох молекул. В. Гарнер показав, що час, протягом якого вважається, що молекули ВР розкладаються одночасно, становить 10^{-13}с , тобто відповідає періоду найменшої частоти коливань іона N_3^- . Деякі фахівці стверджували, що всі явища, які спостерігаються при вибуху азиду свинцю (або азиду срібла), можна пояснити з погляду механізму саморозігріву.

У даний час найбільш обґрунтованою гіпотезою запалювання вибухових речовин, наприклад лазерним моноімпульсом, є гіпотеза осередкового розігріву

оптичних мікронеоднорідностей у мікрокристалах ВР [9]. Однак температура розігріву, наприклад, включень срібла ($\sim 10^{-5}$ см) в азиді срібла, при порозі щільності енергії впливу ~ 300 °С [11] (тривалість впливу ~ 30 нс) недостатня для формування вогнища запалення. Подальше вдосконалення гіпотези звелось до врахування того факту, що пресовані зразки ВР є дифузно розсіювальними середовищами з щільною упаковкою розсіювачів. У результаті багаторазового відбиття фотонів на гранях монокристалів можливо просторове збільшення освітленості мікронеоднорідностей більш ніж на порядок. Результати експериментальних і теоретичних досліджень непогано узгоджуються з основними положеннями запропонованої гіпотези. Однак при запалюванні окремих монокристалів α -азиду свинцю була зафіксована рекордно низька гранична щільність енергії запалювання – $2,8$ мДж/см² [12], незважаючи на те, що ніякого збільшення освітленості в цих зразках не могло бути.

Для усунення цього протиріччя була запропонована «деформаційна» модель запалювання ВР. При нагріванні мікронеоднорідностей виникають зсувні деформації в області ВР, порівняні з її розмірами, а переміщення вузлів решітки порівняні з її параметрами. У результаті цього групи N_3^- зближуються з іонами Ag^+ до відстаней, при яких можливе утворення N_3^0 : $N_3^- \rightarrow N_3^0 + e$, взаємодія між якими веде до вибухового перетворення ВР. Для розрахунку стійкості структури N_3^- використовувалася наближена квантово-механічна модель стану електрона в полі двох кулонівських центрів. Модель була модифікована для випадку впливу зовнішніх кулонівських центрів. У розрахунках використовувалося найближче оточення іонів до розглянутої групи N_3^- .

На рис. 1.11 показані молекулярні терми N_3^- при різних значеннях відносної деформації зсуву $tg\gamma$. Видно, що зі збільшенням деформації (наприклад при запалюванні ВР ударом) знижується енергія зв'язку, молекулярні терми стають більш пологими і в результаті відбувається розпад молекули.

Теплова теорія збудження вибуху при механічних впливах спирається на теорію локальних розігрівів або теорію «гарячих точок», яку запропонував Бертоло, розвинену надалі Н.Н. Семеновим, Ю.Б. Харитоновим, А.Ф. Беляєвим, А.М. Дрьомініним, Ф. Боуденом, А. Іоффе, В. Гарнером та ін.

Для промислових ВР незалежно від виду початкового імпульсу можна прийняти тепловий механізм збудження вибуху (утворення «гарячих точок»). Як

показали А. Іоффе і Ф. Боуден, розміри «гарячих точок» – ГТ, при яких відбувається вибух, лежать у діапазоні $10^{-3} \dots 10^{-5}$ см. Температура, що виникає в таких точках, приблизно дорівнює $700 \dots 900$ К. Тривалість впливу повинна бути більше часу затримки запалення в ГТ.

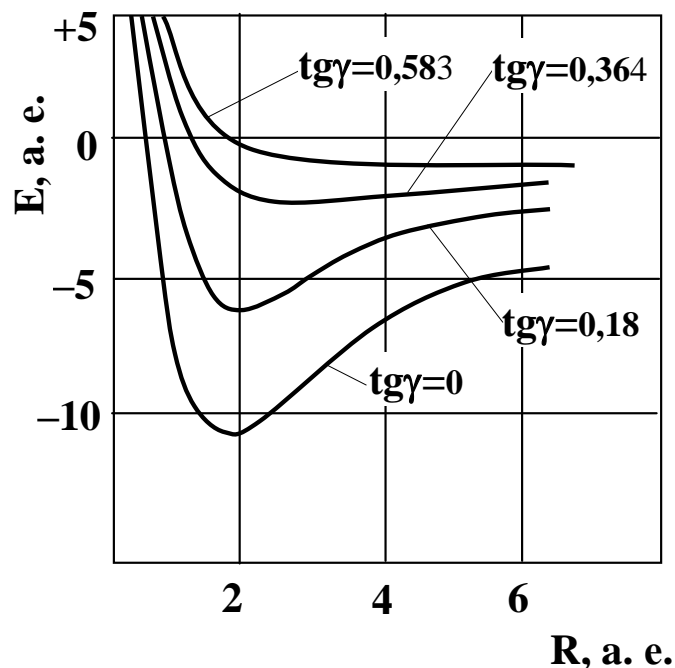


Рис. 1.11. Молекулярні терми трьохатомної молекули азоту при різних деформаціях

1.4. Експериментальні дослідження детонації ВР

Однією з основних характеристик ВР є швидкість детонації, тому її визначення має важливе значення. До другої половини минулого століття швидкість детонації конденсованих ВР була єдиним механічним параметром детонації, який визначали експериментально. У даний час методики експериментального визначення детонації і швидкостей інших швидкоплинних процесів є надійними, мають досить високу точність вимірюваних величин.

Методи визначення детонації ВР підрозділяють на дві групи:

1 – визначення середнього значення на ділянці заряду (**метод Дотріша, осцилографічний метод**);

2 – безперервне визначення по довжині ділянки заряду (фотографічний метод у зарядах з прозорою оболонкою, осцилографічний метод з датчиками змінного опору, радіоінтерферометричний метод – в основі лежить ефект Доплера – вимірювання доплерівського зсуву частоти радіохвилі сантиметрового або міліметрового діапазону, відбивної від детонаційної хвилі).

Всі використовувані для цих цілей прилади в першій групі методів (осцилографи, хронографи і т. п.) здатні вимірювати короткі проміжки часу, вони реєструють проміжок часу, протягом якого детонаційна хвиля проходить через дві або більше число фіксованих точок. Швидкість процесу при цьому розраховується як середня швидкість на даній ділянці. Використання сучасних імпульсних осцилографів, лазерної техніки дозволяє вимірювати швидкість детонації на малій базі, яка складає декілька міліметрів.

Переваги другої групи методів перед хронографічним мають, зокрема, оптичні методи дослідження, які ґрунтуються на тому, що явище реєструється безінерційно і не вносяться спотворення і помилки за рахунок датчиків. Запис ведеться в безперервній формі, що дає можливість визначати не середні, а справжні швидкості процесу.

Мінімальна швидкість детонації для твердих (конденсованих) вибухових речовин $\sim 1,2$ км/с. Звичайна швидкість детонації промислових ВР $\sim 2,5\text{...}6,5$ км/с, а вибухових хімічних сполук $\sim 7\text{...}10$ км/с. Чим вища швидкість детонації, тим вищий тиск детонації та ефективність дії вибуху.

До експериментальних методів, що отримали широке розповсюдження головним чином у фізичних дослідженнях, належать:

- вимірювання швидкості вільної поверхні перешкоди (використовують штучні й природні відколи, метод лазерного вимірювання хвильових швидкостей, електричний метод);

- вимірювання хвильової швидкості в перешкоді з використанням індикаторної рідини СНСІ (фотоелектричний метод вимірювання яскравості фонтану ударної хвилі й тиску в індикаторній рідині);

- імпульсне рентгенографування зміщення фольги;

- електромагнітний метод;

- вимірювання профілю тиску манганіновими датчиками електричного опору.

1.4.1. Оптичний метод визначення швидкості детонації

При використанні оптичних методів побудова $x-t$ кривої (відстань-час), диференціюванням якої отримують дані про швидкості процесів, здійснюється, як правило, розгорткою світіння обертовим дзеркалом (рис. 1.12).

Основними приладами, що використовуються для оптичних досліджень, є відеореєстратори із дзеркальною розгорткою – СФР. Дзеркальна розгортка складається з трьох основних вузлів: оптичної системи, вузла синхронізації та пристрою, що розгортається. Оптична система при використанні в ній світлосильних і довгофокусних об'єктивів у вигляді лінз дозволяє отримати великий радіус розгортки і досить освітлене зображення. При цьому заряд випробуваної ВР може бути видалений на досить безпечну відстань від першого об'єктива приладу.

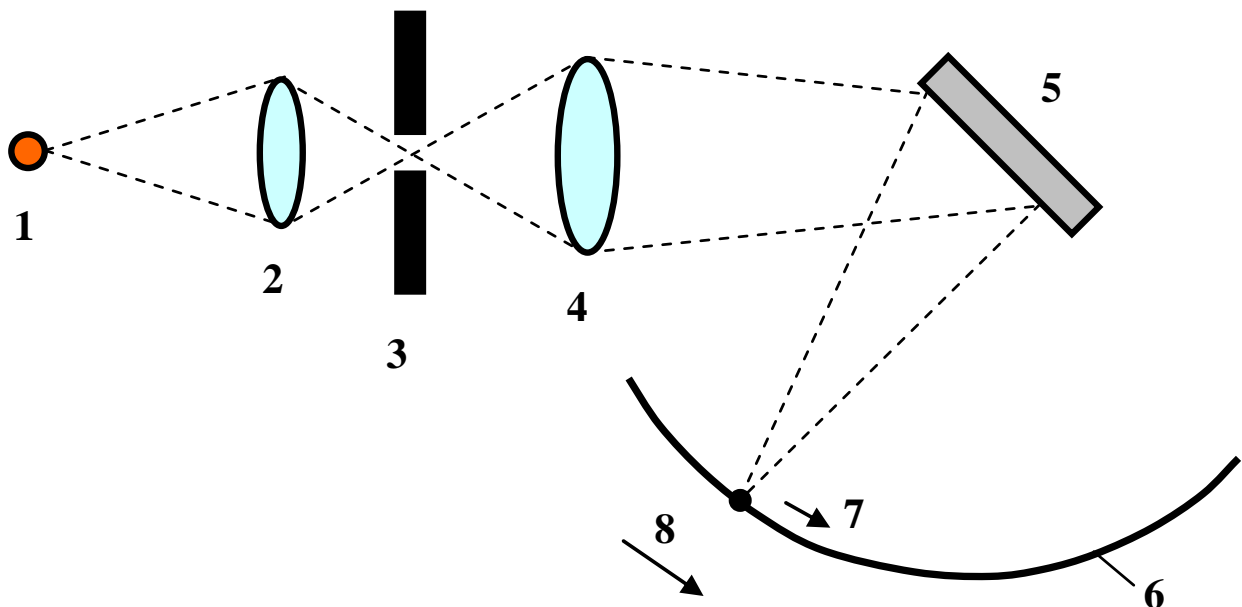


Рис. 1.12. Принципова оптична схема дзеркальної розгортки:

- 1 – заряд ВР, що розташований перпендикулярно до площини креслення;
- 2 – об'єктив; 3 – щілинна діафрагма; 4 – об'єктив; 5 – обертове дзеркало;
- 6 – фотоплівка; 7 – напрямок обертання дзеркала;
- 8 – напрямок переміщення зображення

За допомогою СФР світіння, що супроводжує детонацію заряду ВР, записують на нерухому фотоплівку, на яку воно відбивається плоским обертовим дзеркалом. Кількість фіксованих на плівці кадрів досягає 2 млн на секунду. Зазвичай

заряд ВР підривають у бронекamerі, що має щілину, через яку і проникає світіння. Зображення на плівці виходить зменшеним по відношенню до дійсних розмірів заряду.

Практичне використання СФР можливе в декількох режимах:

- покадрова зйомка (у цьому випадку перед фотоплівкою встановлюється лінзова вставка, що дозволяє отримувати покадрове зображення процесу зі швидкістю до 2 млн кадрів на секунду; щілинна діафрагма при даній зйомці відсутня) (рис. 1.13);

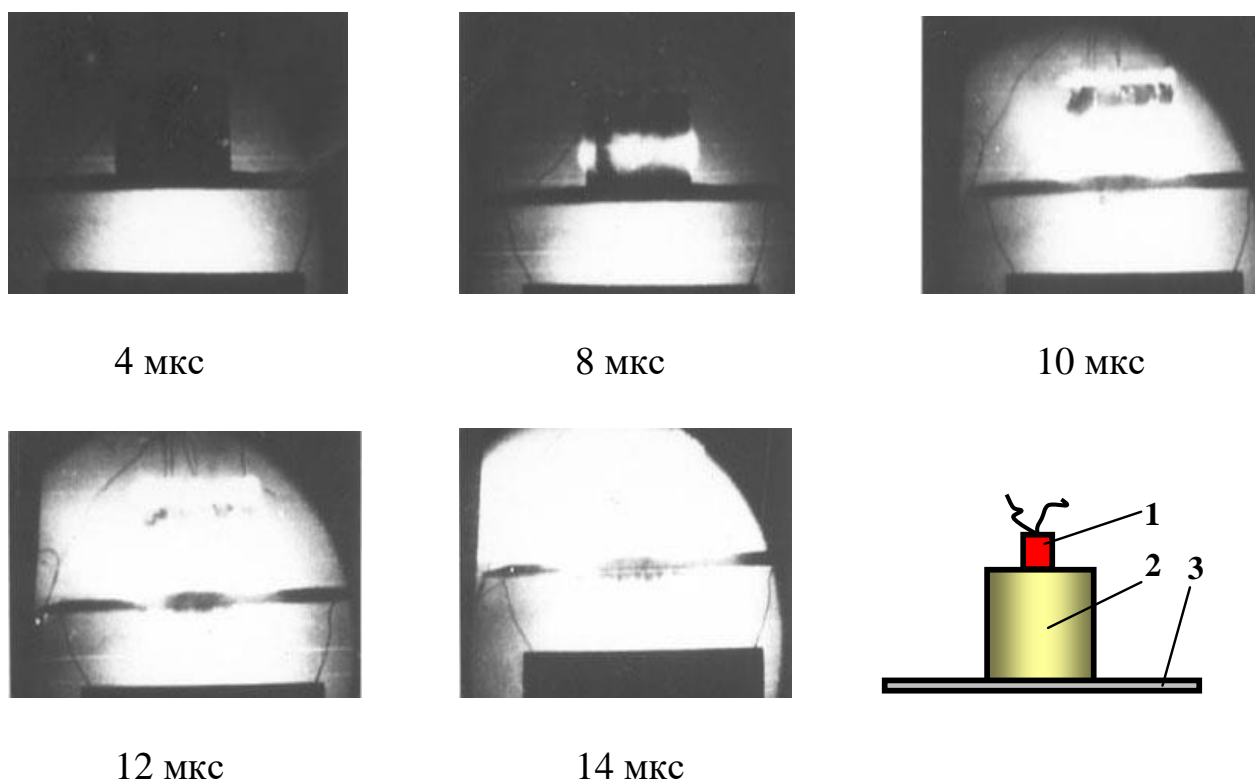


Рис. 1.13. Типова картина покадрового зображення розвитку високошвидкісного процесу – продуктів вибуху, що світяться, заряду амоніта бЖВ:

1 – електродетонатор; 2 – заряд ВР; 3 – картон

- зйомка з бічної поверхні заряду ВР (у цьому випадку на фотоплівці фіксується тимчасова розгортка поширення зони світіння – фронту ударної хвилі, детонаційної хвилі або полум'я при горінні ВР – по довжині заряду. Дана постановка експерименту дозволяє реєструвати і перехідні процеси, оскільки зображення на плівці є аналогом t-x діаграми);

- зйомка з торцевої поверхні заряду (дана постановка використовується для реєстрації швидкості детонаційної хвилі).

1.4.2. Метод іонізаційних датчиків

Даний метод вимірювання швидкості детонації заснований на іонізації продуктів вибуху за фронтом детонаційної хвилі. Як було встановлено, при детонації зарядів ВР можуть виникати високі напруги. Наприклад, між двома провідниками, що йдуть від електродетонатора № 8, отримані сигнали величиною 2 кВ. Більш високі значення (20 кВ) зафіксовані в зарядах, вкритих оболонкою з кухонної солі. Ці спостереження послужили причиною досліджень як іонізованого стану в бризантних ВР під час детонації, так і зв'язку детонації з іонізацією. На підставі численних експериментів було встановлено, що висока ступінь іонізації в зоні реакції детонаційної хвилі є унікальною особливістю детонації конденсованих ВР.

Електричний опір продуктів вибуху становить від декількох одиниць до декількох десятків Ом на міліметр. Поміщаючи в заряд ВР на деякій відстані один від одного іскрові проміжки (іонізаційні датчики), до яких прикладена деяка напруга, можна під час детонації фіксувати електричний імпульс, що виникає в мережі.

На рис. 1.14 показана схема вимірювання швидкості детонації за допомогою іонізаційних датчиків. Іонізаційні датчики поміщаються в заряд ВР, пелюстки яких вмикаються в ланцюг осцилографічного вимірювача часу. Таким чином за допомогою осцилографа вимірюється часовий проміжок (t) проходження детонаційної хвилі ділянки L :

$$D_{ВР} = L/t.$$

Для даного методу $\Delta D_{ВР} / D_{ВР} \approx \pm 0,5 \%$.

Крім методу іонізаційних датчиків в експериментальних дослідженнях широко використовуються електромагнітний метод реєстрації масової швидкості за фронтом ударних і детонаційних хвиль та метод вимірювання швидкості детонації за допомогою реостатного датчика.

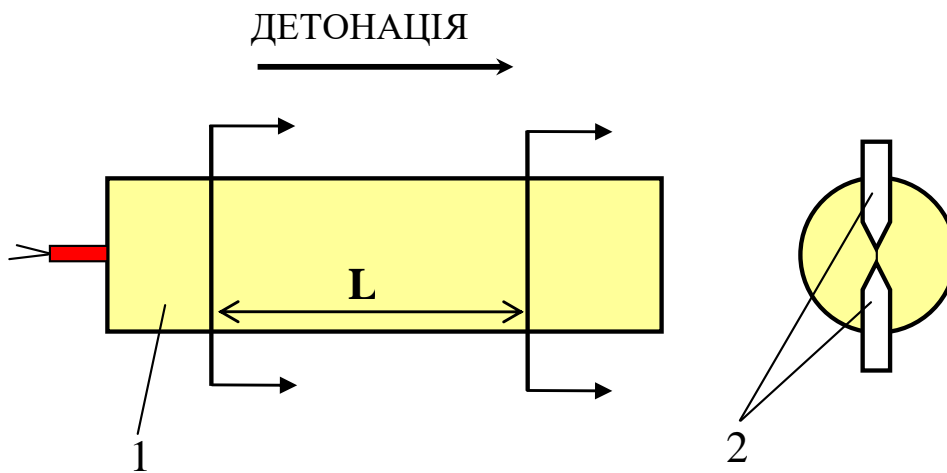


Рис. 1.14. Схема вимірювання швидкості детонації методом іонізаційних датчиків:
1 – заряд ВР; 2 – пелюстки датчиків

1.4.3. Метод Дотріша

Одним з найперших методів вимірювання швидкості детонації є метод Дотріша, що не вимагає спеціальної апаратури. Вимірювання базується на порівнянні визначеної швидкості детонації з відомою і постійною швидкістю детонації детонувального шнура. Детонувальний шнур у даному випадку відіграє роль хронографа. Цей спосіб визначення швидкості детонації є найбільш простим і доступним способом контролю якості ВР на полігонах (рис. 1.15).

З бічної сторони заряду ВР, що випробовується, як правило, довжиною 300 мм (або іншої довжини) вводять відрізки детонувального шнура (ДШ) довжиною від 1,5 до 3 метрів. Відстань між точками А і Б залежно від довжини патрона має бути 200...300 мм. Відстань між точками і довжину детонувального шнура ретельно вимірюють, при цьому швидкість детонації ДШ повинна бути відома до проведення досліджень. Вільний відрізок ДШ укладають на металеву пластину товщиною не менше 2...4 мм і довжиною 300...400 мм. По середині пластини відзначають ділянку (точка О) між рівними відрізками: $АО = АБ + БО$.

Електродетонатор встановлюють як показано на схемі (рис. 1.15). Під час вибуху заряду ВР детонаційна хвиля, дійшовши до точки А, викликає детонаційну хвилю у відрізку АО детонувального шнура, яка піде по ДШ у бік точки О. Продовжуючи рух по заряду ВР, детонаційна хвиля дійде до точки Б і порушить детонацію у відрізку БО детонувального шнура. Таким чином, детонаційні

хвилі у відрізках **АО** і **БО** будуть рухатися назустріч один одному і в якийсь момент зустрінуться, наприклад в точці **В**. Якщо швидкість детонації заряду **ВР** буде менше швидкості детонації **ДШ**, то зіткнення двох хвиль станеться праворуч від точки **О**. Якщо ж швидкість детонації заряду **ВР** виявиться більше, ніж детонувального шнура, то зіткнення двох хвиль станеться зліва від точки **О**. Результатом лобового зіткнення детонаційних хвиль, що йдуть по відрізках **ДШ**, буде стрибкоподібне підвищення тиску й утворення двох симетричних газових струменів, спрямованих перпендикулярно до осі **ДШ**. Високий тиск газів створить характерне заглиблення на поверхні металевої пластини.

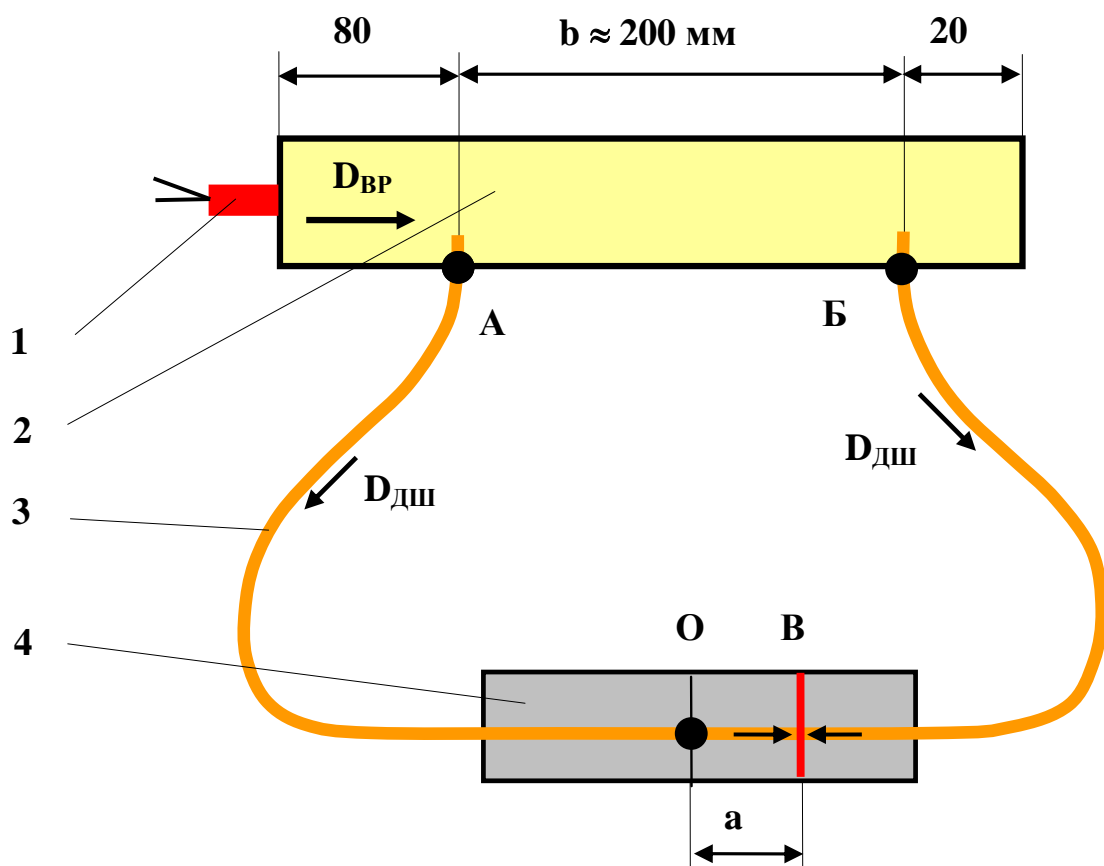


Рис. 1.15. Схема визначення швидкості детонації за методом Дотріша:
 1 – електродетонатор (або капсуль-детонатор); 2 – заряд **ВР**; 3 – **ДШ**;
 4 – металева пластина; $D_{ДШ}$ – швидкість детонації **ДШ**;
 $D_{ВР}$ – швидкість фронту детонаційної хвилі (**ДХ**) в заряді **ВР**.
 Стрілками вказано напрямок руху фронту детонаційної хвилі
 в заряді **ВР** і в детонувальному шнурі

Час, протягом якого фронт детонації пройде від точки **A** до точки **B**, обчислимо за формулою:

$$t_1 = (AO + a)/D_{\text{дш}}.$$

Час, витрачений фронтом детонації в заряді ВР на проходження ділянки від точки **A** до точки **B** (відстань b), визначаємо з виразу:

$$t_2 = b/D_{\text{ВР}},$$

а час проходження ДХ по шнуру від точки **B** до точки **B** легко знаходять з виразу:

$$t_3 = (BO - a)/D_{\text{дш}}.$$

Оскільки детонаційні хвилі, що поширюються в відрізках $(AO + a)$ і $(BO - a)$ детонувального шнура, зустрічаються в точці **B**, то, враховуючи $t_1 = t_2 + t_3$, отримаємо:

$$(AO + a) / D_{\text{дш}} = b / D_{\text{ВР}} + (BO - a) / D_{\text{дш}}$$

або

$$D_{\text{ВР}} = D_{\text{дш}}b / (AO + a - BO + a).$$

Використовуючи початкову умову, при якій $AO = b + BO$, зробимо заміну в останньому рівнянні й отримаємо:

$$D_{\text{ВР}} = D_{\text{дш}}b / (b + BO + a - BO + a).$$

Остаточо матимемо:

$$D_{\text{ВР}} = D_{\text{дш}}b / (b + 2a). \quad (1.23)$$

Максимальна помилка визначення швидкості детонації за цим методом, як показала багаторічна практика, не перевищує 3...5 %.

1.4.4. Оптиволоконний метод дослідження детонації ВР

В останні роки розроблені способи вимірювання швидкості детонації за допомогою світловодів, що базуються на передачі світіння детонаційної хвилі до фотоприймача. Методика вимірювання за своєю суттю близька до методу вимірювання електроконтактними датчиками. Відрізняється тим, що до реєстраційних приладів по світловоду передається світіння детонаційної хвилі.

До переваг методу Дотріша належить, крім простоти і доступності, те, що він дозволяє вимірювати швидкість процесу вибухового перетворення безпосередньо в спорядженому боєприпасі. Однак метод Дотріша придатний лише для відносно невеликих кількостей ВР.

Використання у вимірах електричних кабелів призводить до похибки у вимірах через сильний вплив потужного електромагнітного імпульсу, наведеного на з'єднувальних кабелях. Німецькою фірмою «МСВ-Хемі» реалізована схема вимірювання детонації, де використано оптиволоконні кабелі замість електричних. У Росії подібний аналогічний метод розроблений ученими Полярного геофізичного інституту КНЦ РАН (М.І. Белоглазовим, В.А. Шишаєвим та ін.) (рис. 1.16).

Переваги оптичних волокон:

- широкосмужність (до декількох десятків тераГерц);
- малі втрати (мінімальні 0,15 дБ/км);
- мала маса (порядку 30 г/м);
- малий діаметр; відсутність взаємної інтерференції;
- безіндукційність (практично відсутній вплив електромагнітної індукції, а отже, і негативних явищ, пов'язаних з потужними електричними розрядами, близькістю до ліній електропередачі, потужними імпульсами струму та ін.);
- вибухобезпечність (гарантується абсолютною нездатністю волокна бути причиною іскри);
- висока електроізоляційна міцність (волокно довжиною 20 см витримує напругу до 104 В);
- висока корозійна стійкість, особливо до хімічних розчинників, олів, води.

А.В. Чернай [9] пише, що були проведені перевірочні випробування, які показали, що отримані за допомогою розробленого оптиволоконного вимірювача швидкості детонації зарядів ВР результати експериментальних вимірювань

відповідають теоретичним уявленням про фізику вибуху, а також експериментальним опублікованим даним, що отримані раніше іншими незалежними методами.

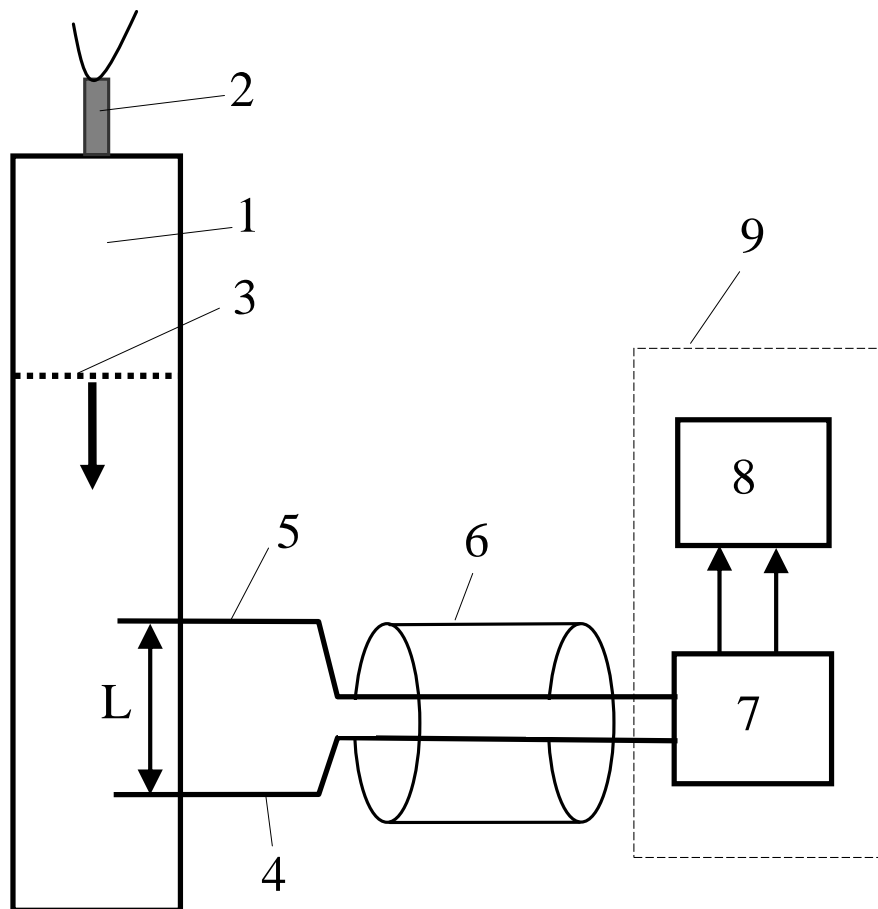


Рис. 1.16. Схема оптоволоконного вимірювання швидкості детонації:

- 1 – заряд ВР; 2 – детонатор;
- 3 – фронт детонаційної хвилі (стрілка вказує напрямок руху фронту детонації);
- 4 і 5 – оптоволоконні кабелі; 6 – кабельний захисний екран;
- 7 – оптоволоконний датчик; 8 – вимірювач швидкості детонації;
- 9 – сталевий контейнер, що закривається; L – база вимірювання

Розроблено методику проведення вимірювань швидкості детонації зарядів промислових ВР за допомогою даного пристрою і рекомендації, що спрямовані на поліпшення якості вимірювань при здійсненні подальших досліджень у виробничих умовах.

1.4.5. Передача детонації на відстань

Передача детонації на відстань характеризує здатність вибуху заряду ВР (активного заряду) викликати детонацію іншого заряду (пасивного), встановленого на деякій відстані від першого.

Реакція вибухового перетворення пасивного заряду ВР пояснюється різким стисненням першого його шару і сильним розігрівом ударної хвилі, що виникла при вибуху активного заряду.

Дальність передачі зростає зі збільшенням діаметра, щільності, маси і потужності активного заряду. Факторами, від яких залежить дальність передачі, є властивості пасивного заряду, наявність оболонки, властивості матеріалу оболонки, середовища, що розділяє заряди та ін. Встановлено, що з властивостей активного заряду визначальними є швидкість детонації та щільність ВР. На основі принципу передачі детонації на відстані введено випробування чутливості ВР до сприйняття детонації (рис. 1.17).

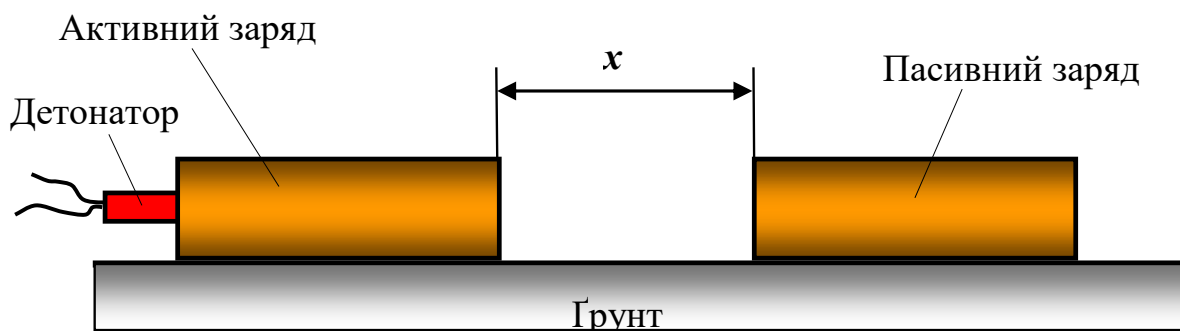


Рис. 1.17. Схема випробування ВР на передачу детонації

Це випробування полягає у визначенні максимальної відстані між двома патронами діаметром 31...32 мм, при якому вибух активного заряду викликає безвідмовну детонацію пасивного заряду ВР. Для кожної промислової ВР встановлені мінімуми таких відстаней (x).

На ґрунт укладають два патрони на деякій відстані один від одного, зазначеному в ТУ. Якщо при двох вибухах відмов не відбулося, то ВР витримала випробування. Якщо сталася відмова, то кількість випробувань збільшують удвічі. При повторній відмові бракується вся партія ВР.

При випробуваннях ВР, що надійшли в мішках, виготовляють патрони діаметром 31 ± 1 мм, довжиною 200 ± 10 мм при щільності заряду ВР $0,95...1,05$ г/см³. Водостійкі ВР випробовують після їх витримки у воді протягом 1 години на глибині 1 м.

Експериментальні значення відстаней передачі детонації між патронами через різні середовища наведено в табл. 1.3. Пасивні й активні заряди виготовлені з однієї ВР.

Таблиця 1.3

Відстані передачі детонації через деякі середовища [15]

Пасивний заряд ВР (вага 100 г, діаметр 31 мм)		Відстань передачі детонації між патронами x , см		
Вибухова речовина	Щільність ВР, г/см ³	Повітря	Вода	Пісок
ТЕН	1	31	3	2
Гексоген	1	30	4	2
Тетрил	1	24	3	2
Тротил	1	9	1	1
Амоніт скельний № 1	1	5	2	1
Амоніт сірчаний № 1 ЖВ	1	9	3	1
Побідит ВП-3	1,05	12	2	0
Амоніт ПЖВ-20	1	5	2	1
Амонал ВА-4	1	6	2	1

Експериментально встановлено, що критична товщина шару будь-якого матеріалу між патронами ВР зростає з діаметром активного заряду ВР. Як видно з даних, наведених у табл. 1.3, ініціювання через повітряні зазори відбувається на більших відстанях, завдяки термічному впливу продуктів вибуху. Загальний інтегральний критерій передачі детонації через будь-які інертні шари (K) є величиною постійною для даної ВР, незалежно від умов випробування (табл. 1.4).

1.5. Елементи термохімії процесів горіння і вибуху

Працездатність вибухової речовини як джерела енергії визначається теплотою вибуху (теплотою вибухового перетворення). Часто в зв'язку з цим про

ВР говорять як про своєрідну теплову машину, яка, в кінцевому рахунку, перетворює потенційну енергію в механічну роботу. В результаті вибуху ВР роботу в навколишньому середовищі виконують у процесі розширення нагріті й стислі продукти вибуху. Таким чином, однією з умов вибухового перетворення є екзотермічність процесу. Тепло, що виділяється при вибуху, сильно впливає на сам характер вибуху, на температуру і тиск ПВ, бризантність і працездатність ВР.

Таблиця 1.4

Величина інтегрального критерію К для високобризантних ВР [8]

Вибухова речовина	Щільність, кг/м ³	К, ГПа·мкс
ТЕН	1570	1,9
ТЕН/віск (95/5)	1640	4,6
Пластична ВР на основі ТЕНу	1500	5,6
Гексоген/віск (99/1)	1640	6,8
Тетрил	1570	7,3
Тротил	1580	10,2
Октоген/віск (96,5/3,5)	1750	11,8
Гексоген/віск (95/5)	1660	13,7
Октоген/тротил (84/16)	1800	19,4
Гексоген/алюміній/віск (75/20/5)	1700	20,7
Тротил/гексоген –ТГ 36/64	1700	56,3
Гексоген/тротилАІ/віск (40/38/18/4)	1700	80,0

Оскільки детонація по своїй суті є швидкою екзотермічною реакцією, то необхідно знати рівняння реакції, яке пов'язувало б хімічну формулу вихідної ВР зі складом кінцевих продуктів вибуху, для розрахунку теплоти вибуху й обсягу ПД. Однак труднощі розрахунків полягають у тому, що «константи рівноваги реакцій для дуже високого тиску детонації невідомі та що при детонації в ПД не встигає встановитися хімічна рівновага» [8], оскільки в ПД міститься кілька проміжних сполук (реакції йдуть не до кінця).

1.5.1. Теплота вибуху. Закон Гесса

На практиці розрахунок теплового ефекту вибуху виконують відповідно до відомого закону Гесса, з якого випливає, що сумарний тепловий ефект деякої послідовності хімічних реакцій не залежить від шляху перетворення вихідних

речовин у кінцеві продукти, а визначається тільки початковим і кінцевим станом системи:

$$Q_{\text{виб}} = \Sigma Q_{\text{пв}} - Q_{\text{вр}}, \quad (1.24)$$

де $Q_{\text{виб}}$ – теплота вибухового перетворення; $Q_{\text{вр}}$ – теплота утворення ВР,
 $\Sigma Q_{\text{пв}}$ – сума теплоти утворення продуктів вибуху.

Закон Гесса в загальному вигляді може бути сформульовано таким чином: парниковий ефект кругового процесу дорівнює нулю.

При обчисленні теплоти утворення ВР зазвичай розглядають такі три складові системи (рис. 1.18): вибухова речовина (1), продукти вибуху (2) і вільні молекули хімічних елементів (3).

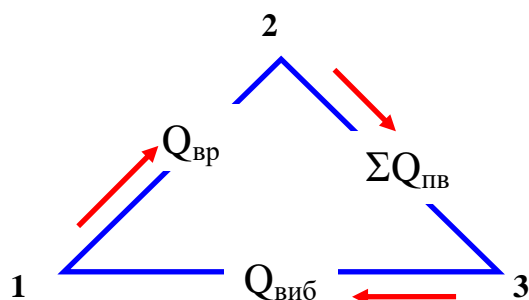
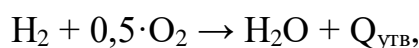


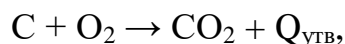
Рис. 1.18. Схематичне зображення закону Гесса

При переході (1) → (2) виділиться тепло, що дорівнює теплоті повного згорання $Q_{\text{вр}}$. У разі переходу (2) → (3) відбудеться поглинання тепла, яке дорівнює загальній кількості теплоти утворення ПВ $\Sigma Q_{\text{пв}}$. Оскільки перехід (3) → (1) відповідає процесу утворення молекул ВР, то теплота цього процесу дорівнює теплоті вибухового перетворення $Q_{\text{виб}}$.

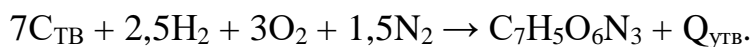
Теплотою вибухового перетворення ($Q_{\text{виб}}$) називається кількість тепла, що виділяється при вибуховому перетворенні одного моля речовини.

Теплотою утворення речовини ($Q_{\text{утв}}$) називається кількість тепла, яке виділяється або поглинається при утворенні одного моля речовини з молекул газів відповідних елементів (H_2 , O_2 , N_2 і т. д.) і простих речовин (С, метал і т. п.). Реакції утворення можуть бути як реальними:

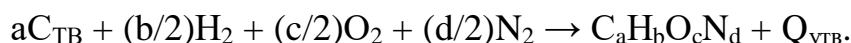




так і гіпотетичними, наприклад, реакція утворення тротилу:



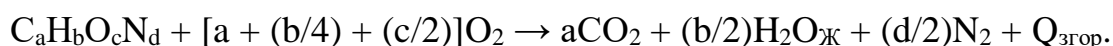
У кінцевому вигляді гіпотетична реакція утворення ВР загальної формули $C_aH_bO_cN_d$ записується так:



Теплоту утворення ВР $Q_{\text{вр}}$ в прямому експерименті визначити неможливо. $Q_{\text{вр}}$ розраховують з урахуванням експериментально знайденої стандартної теплоти згорання даної речовини.

Стандартною теплотою згорання речовини називається кількість тепла, яке виділяється при згоранні одного моля речовини в атмосфері надлишку кисню за умови, що вуглець і водень утворюють при цьому вищі окисли (CO_2 , H_2O).

Для ВР формули $C_aH_bO_cN_d$ реакція згорання в надлишку кисню записується в такий спосіб:



Для бризантних ВР невеликі помилки при оцінці $Q_{\text{утв}}$ допустимі, оскільки остаточний вибір ВР виконується за натурними випробуваннями зарядів: бризантність, руйнування перешкод, метальна дія, працездатність та ін.

1.5.2. Кисневий баланс ВР

Вибух являє собою необоротну хімічну реакцію перетворення вихідної ВР в газоподібні продукти. Напрямок реакції та склад кінцевих продуктів визначають основні параметри вибуху: теплоту, температуру, тиск та ін., що входять до складу продуктів вибуху, оксиди азоту та окис вуглецю, як відомо, мають високу токсичність. Вони стають особливо небезпечними в підземних виробках, коли їх кількість перевищує допустимі межі. Боротьба з отруйними газами в гірничих

виробках ведеться протягом багатьох десятиків років, а в цей час у зв'язку з розширенням асортименту застосовуваних ВР і розвитком гірничих робіт стає вельми важливою та актуальною. Неминучі обмеження, наприклад, за умовами вентиляції в підземних виробках зобов'язують вводити певні норми для ВР щодо кількості утворених при вибуху отруйних газів.

Ідеальними компонентами вибухового перетворення є найбільш термодинамічні стійкі сполуки. Однак у випадках промислового використання ВР спостерігаються відхилення від ідеального складу ПВ з кількох причин. Наприклад, на склад ПВ з негативним кисневим балансом сильно впливає щільність заряду ВР, швидкість гартування ПВ (швидкість теплообміну з навколишнім середовищем), умови розльоту ПВ, тобто час протікання реакції в зоні хімічного піку й особливості характеру взаємодії між компонентами ПВ, а також хімічний склад і концентрація добавок. Крім цього, властивості гірських порід при веденні підричних робіт надають вельми помітний вплив на утворення, склад і концентрацію отруйних газів. Причиною відхилення від ідеального складу ПВ є каталітична дія гірських порід – під час вибуху одної ВР в різних гірських породах були виявлені значні відхилення кількісного складу отруйних газів. Іншими словами, компоненти гірських порід вступають у хімічну взаємодію з ПВ, надаючи каталітичну дію на сценарії вторинних реакцій у самих ПВ.

Експерименти, що проводилися в ДержМакНДІ та в Інституті гірничої справи (ІГС) ім. О.О. Скочинського, свідчать про те, що вплив породи навколо заряду ВР значно сильніше, ніж вплив складу ВР на кількість отруйних газів у ПВ. Коливання сумарної кількості отруйних газів при вибуху різних ВР в одній гірській породі досягали 200 %, а під час вибуху одної ВР в різних породах – до 1000 %.

При підриванні зарядів ВР в гірському масиві виникають радіальні й тангенціальні тріщини, механізм утворення яких детально описаний у літературі. ПВ під дією високого тиску проникають не тільки в нові тріщини, що утворилися, але і в тріщини природного походження, викликаючи їх розвиток. Процес руйнування, при якому розвиваються тріщини, супроводжується поділом різномірних електричних зарядів на нових утворюваних поверхнях, при цьому в області розриву виникають електричні поля високої напруженості, що призводить до різко нерівноважного стану поверхні, високої поверхневої провідності й хімічної активності. На стійкість молекул і хід хімічних реакцій у цілому істотно впливає щільність поверхневих зарядів.

Під дією тиску газів ймовірність зіткнення молекул ПВ з поверхневими зарядами тріщини різко зростає, тобто існує велика ймовірність їх зближення на відстані, в порівнянні з між'ядерними відстанями в молекулі. В результаті цього можлива дисоціація вихідних молекул і утворення нових, у тому числі й таких токсичних, як оксиди азоту, вуглецю та ін.

Для оцінки енергетичних параметрів ВР необхідно знаходити співвідношення між горючими компонентами й окиснювачем у молекулі. Це співвідношення характеризується величиною кисневого балансу, вираженою у відсотках.

Кисневим балансом (КБ) називають достатню, надмірну або недостатню кількість кисню в складі ВР в порівнянні з кількістю, що необхідна для повного окиснення в ньому вуглецю, водню та інших елементів, здатних окиснюватися під час вибуху.

Таким чином, з визначення випливає, що КБ може бути позитивним, негативним і нульовим.

Позитивний КБ – наявність кисню в складі ВР перевищує кількість, необхідну для окиснення горючих елементів (при вибуховому перетворенні ВР утворюються отруйні окисли азоту, унаслідок чого такі ВР не допускаються для підричних робіт під землею).

Нульовий КБ – у складі ВР кисень міститься в кількості, що необхідна для повного окиснення всіх горючих елементів.

Негативний КБ – наявність кисню недостатня для окиснення всіх горючих елементів і в продуктах вибухового перетворення.

Вочевидь, якщо КБ дорівнює нулю, вибухова речовина характеризується максимальною працездатністю. При використанні ВР на основі аміачної селітри нестача кисню для повного окиснення призводить до утворення чадного газу (СО), при позитивному балансі – до утворення окислів азоту. Під час вибуху хлоратних і перхлоратних ВР можуть виділятися отруйні гази, що містять хлористий водень, діоксини та інші гази, що містять хлор.

За складом ВР поділяються на індивідуальні хімічні речовини і механічні суміші компонентів, які вступають між собою в реакцію. Розрахункова формула при визначенні КБ для індивідуальних ВР буде така:

$$KB = \frac{A_G \cdot 100}{M_{BP}}, \% \quad (1.25)$$

де A_{Γ} – грам-атомна вага надлишку або нестачі кисню в складі ВР; M_{BP} – грам-молекулярна вага даної ВР; 16 – грам-атомна вага кисню; K_{Γ} – необхідна кількість атомів кисню для повного окиснення атомів вуглецю в CO_2 та атомів водню в воду; K_B – кількість атомів кисню в складі ВР;

$$A_{\Gamma} = 16(K_B - K_{\Gamma}).$$

$$K_{\Gamma} = 2C_n + 0,5H_m.$$

Для ВР формули $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$:

$$KB = \frac{[d - (2a + 0,5b)] \cdot 16}{12a + b + 14c + 16d} \cdot 100\%, \quad (1.26)$$

де a, b, c, d – число атомів вуглецю, водню, азоту і кисню відповідно.

Знаменник дроби в правій частині формули позначає молекулярну масу ВР:

$$M_{BP} = 12a + b + 14c + 16d.$$

Нульовому КБ відповідає кисневий коефіцієнт α_K , що дорівнює 1:

$$\alpha_K = d / (2a + 0,5b) = 1.$$

Для 1 кг суміші ВР розрахунок КБ зручно проводити за формулою:

$$KB = 16[d - (2a + 0,5b)], \%. \quad (1.27)$$

Якщо в суміші ВР міститься алюміній, то рівняння для КБ і α_K будуть мати такий вигляд:

$$KB = 16[d - (2a + 0,5b) + 1,5e], \%, \quad (1.28)$$

$$\alpha_K = d / (2a + 0,5b + 1,5e),$$

де e – кількість грам-атомів алюмінію.

1.6. Чутливість ВР до зовнішніх впливів

Вибухові властивості ВР визначають лише потенційну можливість їх вибухового перетворення. Для реалізації цієї можливості необхідно зробити на ВР такий вплив, який був би здатний викликати в ній вибухове перетворення, тобто вплив, який називають ініціювальним імпульсом. Здатність ВР реагувати на зовнішній вплив шляхом хімічного перетворення в формі детонації (вибуху) називають чутливістю ВР до зовнішніх впливів. Чутливість ВР є найважливішим параметром, що визначає принципову можливість практичного застосування ВР.

Початковими імпульсами можуть бути різні види впливів. Будь-який зовнішній вплив з фізичної суті є енергетичним. ВР має селективну чутливість до різних видів початкових імпульсів. Так, одні ВР більш чутливі до механічних впливів (тертя, накол і т. д.), другі – до теплових (відкритий вогонь, контактний нагрів), треті – до енергії лазерного випромінювання, рентгенівського або інфрачервоного тощо. Чутливість до зовнішніх впливів класифікують за видами початкового імпульсу, розглядаючи окремо чутливість до удару, променю вогню, ударної хвилі та ін.

Основними видами початкових імпульсів є такі форми енергії: тепла, механічна, електрична, енергія електромагнітного випромінювання, ударно-хвильовий вплив, детонаційний імпульс, ультразвукові хвилі й т. д.

Оскільки найбільш поширеним видом випадкового впливу є механічний (удар, тертя, накол, вібрація), то чутливість ВР до цього виду впливу досліджується в першу чергу для оцінки рівня їх небезпеки при використанні, транспортуванні та інших операціях, а також для оцінки безвідмовності спрацьовування ВР.

Основні експериментальні методи оцінки чутливості ВР до механічних впливів такі: визначення чутливості до тертя ударного характеру (метод Боудена–Козлова), до тертя при стиранні, до удару (копер Велера, копер К-44-1, копер К-44 -II, роликові прилади № 1 і № 2, метод критичних напруг – вимірюються напруги, що розвиваються в ВР при ударі в момент порушення вибухового процесу).

У процесі виробництва, переробки, спорядження і застосування ВР поширеним видом зовнішнього впливу є тепловий – контактний нагрів, дія відкритого вогню. Вибухова речовина при нагріванні термічно розкладається з виділенням

тепла. Якщо швидкість відводу тепла в системі буде менше швидкості надходження в неї тепла, то реакція може супроводжуватися виникненням спалаху. Температура, при якій хімічна реакція набуває характеру вибухового перетворення, називається температурою спалаху.

Одним з варіантів випробування ВР на чутливість до теплового впливу є метод ЛТІ, розроблений в Санкт-Петербурзькому технологічному університеті. За цим методом температуру спалаху визначають при 5-секундній затримці займання ВР. Використовуються такі навішування ВР: для ініціюючих ВР – 0,02 г, для бризантних ВР – від 0,05 до 0,1 г.

З метою створення надійних, безвідмовно діючих засобів ініціювання (капсулів-детонаторів, електродетонаторів) проводяться дослідження чутливості бризантних ВР до детонаційного імпульсу. Чутливість бризантних ВР до вибухового імпульсу ініціюючих ВР визначається для забезпечення безвідмовної роботи КД і ЕД і характеризується величиною мінімального ініціюючого заряду ІВР. У табл. 1.5 наведені значення мінімального ініціюючого заряду (МІЗ) штатних ІВР.

Чутливість ВР до електричного імпульсу є важливішою характеристикою, оскільки більшість вибухових речовин – діелектрики і мають здатність до електризації. Головна небезпека полягає в тому, що накопичений статичний заряд на стінках обладнання або ВР може перевищити електричну міцність навколишнього середовища, а електричний розряд при цьому може викликати запалення або детонацію ВР.

Таблиця 1.5

**Мінімально ініціюючий заряд штатних ІВР для деяких бризантних ВР
(вторинних ініціюючих ВР)**

Бризантна вибухова речовина	Первинна ініціююча ВР	
	азид свинцю, г	гримуча ртуть, г
Амоніти	–	0,25...0,39
Тротил	0,1	0,25...0,36
Тетрил	0,025	0,15...0,29
Гексоген	0,05	0,14...0,19
ТЕН	0,01...0,02	0,15...0,17
Пікринова кислота	0,025	0,30

Іскровий розряд може виникнути від блукаючих струмів, статичної електризації та інших причин. У момент пробою в розрядному проміжку утворюється тонкий струмопровідний канал холодної плазми із щільністю струму $104...105 \text{ A/cm}^2$. За час $0,1...1,0 \text{ мкс}$ повітря нагрівається до температури 10000 K , що є причиною утворення ударної хвилі. Якщо ВР (у вигляді пилу або порошку) виявляється з яких-небудь причин у розрядному проміжку, то може статися її займання або вибух.

Відповідно до правил безпеки й охорони праці передбачаються такі основні заходи захисту від електризації:

- безперервне відведення утворюваних зарядів шляхом заземлення обладнання;
- вжиття заходів для підвищення об'ємної і поверхневої провідності: зволоження поверхні частинок, підтримання в приміщенні відносної вологості (понад 65%), введення антистатичних і електропровідних добавок (металів, графіту і т. п.);
- обслуговуючий персонал повинен бути в електропровідному одязі та взутті (людина, ізольована від землі, може накопичити на собі заряд до 15000 В);
- у найбільш небезпечних з точки зору електризації вузлах встановлюються прилади, які безперервно фіксують фактичний рівень електризації.

1.7. Деякі способи відносної оцінки корисної роботи вибуху

1.7.1. Працездатність ВР

Працездатність пропорційна повному імпульсу вибуху, а фугасні форми роботи здійснюються протягом декількох мілісекунд. У зоні фугасної дії за межами відстаней, що дорівнюють $1,5 - 2$ радіусам заряду ВР, працює тільки ударна хвиля, інтенсивність якої (на одиницю маси ВР) визначається теплотою вибухового перетворення – $Q_{\text{внб}}$. Мірою максимальної роботи заряду вибухової речовини є потенційна енергія або, іншими словами, теплота вибуху. У цьому випадку роботу вибуху можна визначити з простого співвідношення:

$$A_{\text{ф}} = Q_{\text{внб}}J,$$

де J – механічний еквівалент теплоти.

За рахунок втрат повна робота вибуху становитиме $0,6...0,7$ повної теплоти вибуху, тобто $(0,6...0,7)A_{\phi}$.

Величина потенційної енергії в одиниці об'єму для різних хімічних ВР становить $600...1600$ ккал/кг ($143...382$ Дж/кг). Ця енергія майже в 10 разів менше потенційної енергії бензину – 2627 Дж/кг. Однак швидкістю виділення енергії визначається працездатність ВР. Наведемо приклад. Під час вибуху 1 кг тринітротолуолу протягом $10...15$ мкс розвивається потужність $2,2 \cdot 10^{11}$ Вт (близько 300 мільйонів кінських сил).

Для визначення відносної працездатності ВР (або фугасності – спільної роботи вибуху) найбільш широко застосовується метод свинцевої бомби, або проба Трауця, прийнятий на другому міжнародному конгресі прикладної хімії. Бомба Трауця – це свинцевий циліндр діаметром і висотою 200 мм, у якому є циліндричний наскрізний отвір діаметром 25 мм і глибиною 125 мм (рис. 1.19). Бомбу відливають з рафінованого свинцю при температурі $390...400$ °С. На дно отвору поміщають заряд ВР щільністю 1 г/см³, вагою 10 г в паперовій гільзі. На заряд ВР встановлюють електродетонатор ЕД-8-Е, а вільну частину каналу бомби засипають сухим кварцовим піском. Випробування проводять при температурі $+10$ °С. При зміні температури вносять відповідні поправки: при 0 °С отриману величину розширення збільшують на 5 %, при $+30$ °С – зменшують на 6 %.

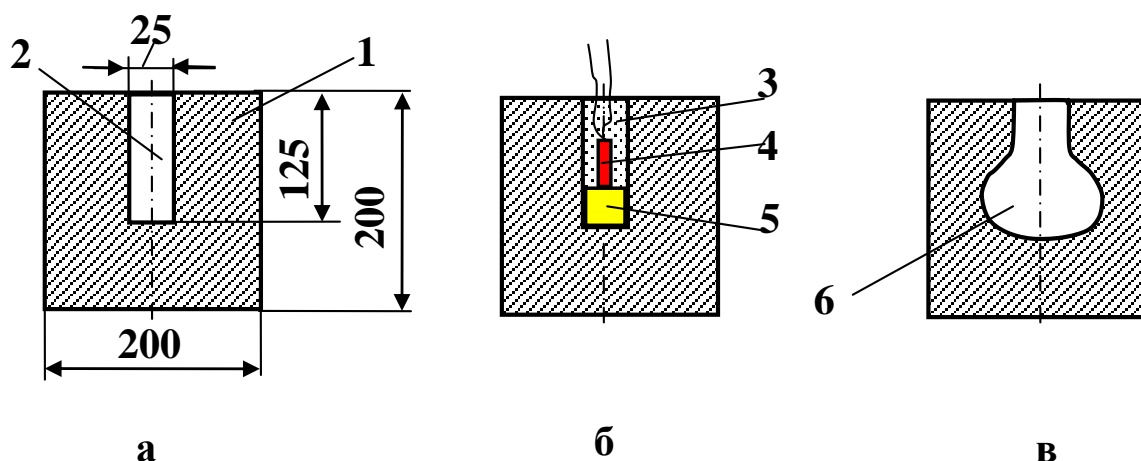


Рис. 1.19. Визначення працездатності в свинцевій бомбі:
1 – свинцева бомба; 2 – канал; 3 – сухий кварцовий пісок;
4 – електродетонатор; 5 – випробувана ВР;
6 – порожнина, що утворилася в бомбі при вибуху ВР та ЕД

У бомбі в районі розміщення заряду при вибуху утворюється порожнина (рис. 1.19, в). Розширення каналу бомби відбувається за рахунок дії тиску продуктів вибуху електродетонатора та випробуваної ВР. Мірою відносної працездатності ВР (в см^3) є величина збільшення об'єму каналу свинцевої бомби за вирахуванням початкового об'єму (61 см^3) і розширення (30 см^3) за рахунок вибуху електродетонатора.

Принципові недоліки цього способу наведені далі. За величиною розширення каналу не можна кількісно порівнювати ВР, а лише розташувати їх в деякій послідовності, тобто в певний відносний ряд, оскільки величина розширення об'єму пов'язана з використанням істинної працездатності ВР нелінійною залежністю.

О.Ф. Беляєв запропонував метод еквівалентних зарядів, який полягає у визначенні еквівалентної маси амоніту БЖВ, що виконує таку саму дію, як досліджуваний заряд ВР. Обов'язковою умовою методу є використання зарядів рівного об'єму. При дотриманні цієї умови однаковим розширенням повинна відповідати однакова робота.

Крім методу свинцевої бомби, на практиці широко застосовуються такі:

- метод балістичного маятника;
- метод балістичної мортири;
- оцінка працездатності за воронкою викиду.

З методикою проведення досліджень і оцінки працездатності перерахованих способів можна познайомитися в спеціальній літературі, що наведена в кінці розділу.

Щоб попередити створення високозапобіжних ВР низької ефективності, введені нормативні вимоги до працездатності ВР різних класів, а саме: III класу повинні мати працездатність не менше 320 см^3 , IV – не менше 265 см^3 , V – не менше 1,03, а VI класу – не менше 0,80 від працездатності вугленіту Е-6 (еталон).

1.7.2. Бризантність ВР

Бризантна (що дробить) дія вибуху проявляється в безпосередній близькості від заряду ВР. На бризантні форми роботи витрачається незначна частина енергії вибуху. Робота бризантної дії підпорядковується співвідношенню, що задовольняє оціночному рівню результатів – щільністю енергії на фронті детонації заряду ВР: $A_{\text{бриз}} \sim \rho_0 D^2$.

Бризантну дію вибуху визначають простим і широко розповсюдженим методом впливу вибуху на середовище поблизу заряду, використовуючи стандартну пробу (пробу Гесса) на обтиснення свинцевих стовпчиків (рис. 1.20) як контрольну приймальну пробу. Методика розроблена в 1879 р. австрійським військовим інженером Філіпом Гессом.

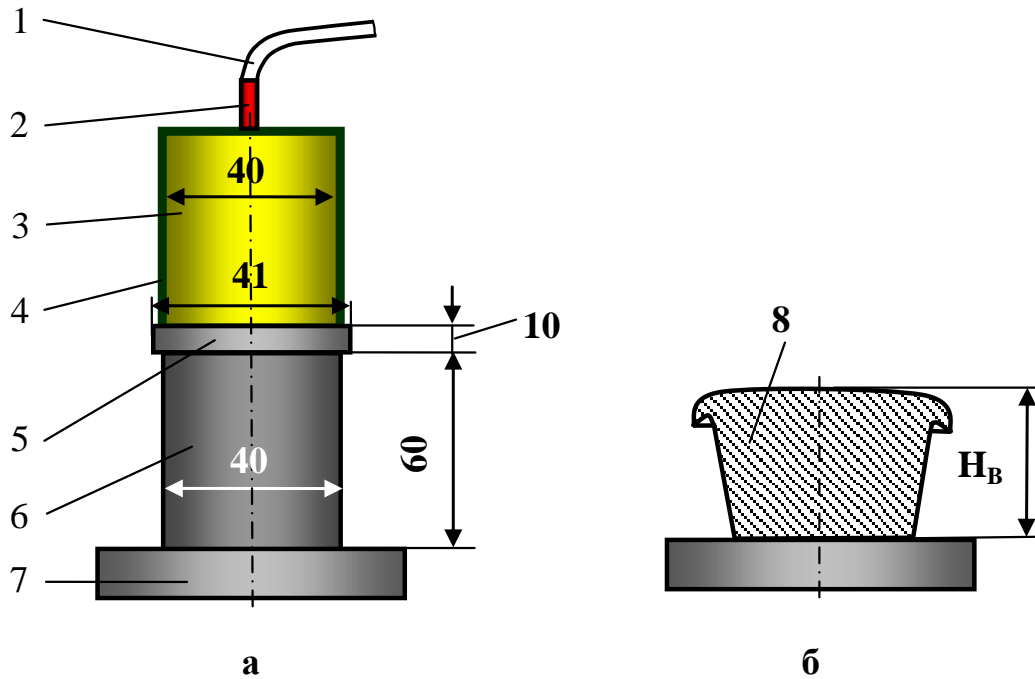


Рис. 1.20. Схема до визначення бризантності за пробою Гесса.

Свинцевий стовпчик до (а) і після (б) обтиску:

- 1 – вогнепровідний шнур; 2 – капсуль-детонатор;
- 3 – заряд випробуваної ВР (50 г); 4 – паперова оболонка;
- 5 – сталева пластина; 6 – свинцевий стовпчик до випробувань;
- 7 – металева плита; 8 – свинцевий стовпчик після випробувань

Мірою бризантності ВР (Б) є величина обтиснення або, іншими словами, різниця висот свинцевого стовпчика до (60 мм) і після обтиску (НВ):

$$Б = 60 - НВ, \text{ мм.}$$

Для промислових ВР величина обтиснення стовпчика залежить від швидкості детонації ВР, яка зростає з подрібненням компонентів та збільшенням гомогенності їх змішування.

У табл. 1.6 подані величини працездатності та бризантності деяких ВР.

Крім проби Гесса, на практиці для обтиску застосовують мідні крешери – проба Каста. Часто використовують методи випробувань бризантності ВР із застосуванням балістичного маятника (експериментальні значення імпульсу розраховуються за вимірюваним відхиленням маятника); а також піщану пробу (sand crash test).

Таблиця 1.6

**Працездатність і бризантність
деяких індивідуальних і сумішевих ВР [10]**

ВР	Працездатність, см ³	Бризантність, мм
Амоніт № 6ЖВ	360...380	14...18
Амоніт скельний № 1	450...480	22...28
Гексоген, октоген	450...495	34 (вага 25 г)
Колоїдний хлопок	310	12
Тетрил	340...390	20...22
Тротил	285...300	16...17
ТГ 50/50	380	14 (вага 25 г)
ТЕН	500	–

Показання проби Каста (як і показання проби Гесса) сильно залежать від потужності капсуль-детонатора і, що найбільш важливо, від висоти заряду вибухової речовини. Необхідність збільшення висоти заряду до 80 мм (діаметр заряду 21 мм) обумовлена гарантією наступу стаціонарного процесу детонації.

Бризантність промислових ВР також оцінюють за результатом вибуху 20 г ВР (методика Л.І. Барона і С.П. Левчика) в базальтовому кубіку з довжиною ребра 150 мм, що поміщений у сталеву посудину. Після вибуху зруйнована гірська порода піддається ситовому аналізу – визначають вихід зерен розміром 5...7 мм.

Питання для самоконтролю знань

1. Який процес називають вибухом? Назвіть його характерні ознаки.
2. Які бувають вибухи? Що є причиною руйнівного характеру вибуху?
3. Причини виникнення ударної хвилі. Покажіть на прикладі.
4. Математичний вираз закону збереження маси.
5. Математичний вираз закону збереження імпульсу.
6. Математичний вираз закону збереження енергії.
7. Що являє собою ударна адіабата?
8. Що являє собою фронт ударної хвилі?
9. Які фізичні параметри змінюються стрибком при переході через поверхню ударного фронту?
10. Яка принципова відмінність ударної хвилі від звукової?
11. Перелічіть характерні ознаки ударної хвилі.
12. Які основні форми хімічного перетворення ВР відомі?
13. Що таке «термічний розкладання» і «термічний вибух»?
14. Що являє собою стаціонарне горіння ВР? Назвіть основні ознаки.
15. Який процес називають детонацією? З якою швидкістю вона поширюється?
16. Що являє собою структура фронту детонаційної хвилі?
17. Якій умові задовольняє детонація за висновками Чепмена-Жуге?
18. Сформулюйте принцип Ю. Харитона.
19. Що розуміють під термінами «ідеальна детонація» і «детонація в неідеальному режимі»?
20. Які існують експериментальні методи дослідження детонації? Коротко охарактеризуйте кожен з названих вами методів.
21. У чому полягає суть методу Дотріша?
22. Сформулюйте закон Гесса.
23. Що називається кисневим балансом? Для чого необхідно знати величину кисневого балансу і як він розраховується?
24. Якими способами порушують детонацію в ВР?
25. Що таке температура спалаху?
26. Перерахуйте заходи захисту ВР від електризації.
27. У чому полягає метод визначення працездатності ВР?
28. Яким способом визначають бризантність ВР на практиці?

Список рекомендованой литературы

1. Зельдович Я.Б. Теория детонации / Я.Б. Зельдович, А.С. Компанеец. – Москва: Гостехтеориздат, 1955. – 268 с.
2. Гласс И.И. Ударные волны и человек / И.И. Гласс. – Москва: Мир, 1977. – 191 с.
3. Физика взрыва / Ф.А. Баум [и др.]. – Москва: Наука, 1975. – 704 с.
4. Покровский Г.И. Взрыв / Г.И. Покровский. – Москва: Недра, 1980. – 190 с.
5. Семенов И.В. Численное моделирование детонационных процессов в газах: науч.-образоват. курс / И.В. Семенов, П.С. Уткин. – Москва: Ин-т АП РАН, 2011. – 69 с.
6. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13 : затв. М-вом енергетики та вугіл. пром-сті України 12.06.2013. – Луганськ : ЛЕТЦ, 2013. – 194 с.
7. Подозерский Д.С. Метод определения скорости детонации и газовой вредности промышленных взрывчатых веществ / Д.С. Подозерский, С.А. Едигарев, Е.А. Власов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 9. – С. 63–66.
8. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология / В.В. Даниленко. – Москва: Энергоатомиздат, 2010. – 784 с.
9. Чернай А.В. О механизме зажигания конденсированных вторичных ВВ лазерным импульсом / А.В. Чернай // ФГВ. – 1996. – Т. 32, № 6. – С. 62–69.
10. Hagan J. Low energy Lazer initiation of single crys. of β -lead aside / J. Hagan, M. Chaundri // J. Mat. Sci. – 1981. – Vol. 16, № 9. – P. 2457–2466.
11. Данилов Ю.Н. Промышленные взрывчатые вещества: в 2 ч. Ч. 1. Иницирующие взрывчатые вещества: текст лекций / Ю.Н. Данилов, М.А. Илюшин, И.В. Целинский. – Санкт-Петербург: СПб ГТИ(ТУ), 2001. – 112 с.
12. Лоскутов Л.А. Определение чувствительности иницирующих взрывчатых веществ к удару и лучу огня: метод. указания / Л.А. Лоскутов, А.С. Козлов. – Санкт-Петербург: СПб ГТИ(ТУ), 2002. – 12 с.
13. Афанасьев Г.Т. Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом / Г.Т. Афанасьев, В.К. Боболев. – Москва: Наука, 1968. – 174 с.

14. Андреев С.Г. Основы теории чувствительности энергетических материалов / С.Г. Андреев, В.С. Соловьев. – Москва: ЦНИИТИ, 1985. – 181 с.
15. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – Москва: Недра, 1988. – 368 с.
16. Стасевич В.И. Разрушение горных пород взрывом: метод. пособие для студ. спец. Т 20.02: в 2 ч. Ч.1. Теория взрыва и взрывчатые материалы. – Минск: БГПА, 2001. – 60 с.

2. ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ І ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

У розділі наведено класифікацію промислових вибухових речовин за складом, умовами застосування та групами сумісності. Подано перелік посадових обов'язків персоналу із забезпечення якісного і безпечного виконання підричних робіт.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти:

– класифікувати вибухові матеріали за складом, умовами застосування та групами сумісності;

– аналізувати гірничо-геологічні й гірничотехнічні умови та на основі аналізу вибирати промислові вибухові речовини;

– оцінювати відповідальність персоналу при порушенні вимог нормативних документів про порядок зберігання, використання та обліку вибухових матеріалів.

Протягом ХІХ–ХХ століть, тобто починаючи з того періоду, коли з'явилися перші бризантні ВР, хімікам удалося розробити й одержати декілька тисяч різних речовин, здатних вибухати. За різними причинами багато з них не знайшли практичного застосування, деякі являють собою тільки теоретичний інтерес, а деякі через високу токсичність та інші недоліки не використовуються взагалі. Існує цілий ряд ВР, які застосовуються виключно у військовій справі. Багато ВР широко використовуються в будівництві, геології, машинобудівних та інших галузях промисловості. Найбільша кількість промислових ВР (близько 90 %) використовується в гірничій справі при видобутку корисних копалин.

Усі промислові ВР можна розділити на два основні класи:

1 – вибухові хімічні сполуки;

2 – вибухові суміші.

Вибухові хімічні сполуки являють собою відносно нестійкі хімічні системи, здатні під дією зовнішніх впливів до швидких екзотермічних перетворень (з виділенням тепла), у результаті яких відбувається розрив хімічних сполук як між молекулами, так і між атомами в молекулах, а далі з'єднання вільних (атомів або іонів) в термодинамічно стійкі нові сполуки (молекули газу, тверді ультрадисперсні частинки, що містять вуглець – алмаз, графіт та ін.). У цій групі більшість ВР – це органічні з'єднання, що містять кисень, здатні до часткового або повного внутрішньомолекулярного горіння.

Нестійкість вибухових хімічних сполук, згідно з Вант-Гоффом, зумовлюється присутністю в їх молекулах метастабільних атомних комплексів, наприклад, груп $C\equiv C$ в похідних ацетилену, $N=N$ в азидах, $N=C$ у солях гримучої кислоти, $N=O$ в нітросполуках, $C-O$ в перекису й озонідах, $O-Cl$ в хлоратах і перхлоратах та ін.

Перераховані групи надають відповідним ВР і з'єднанням вибухові властивості за рахунок того, що деякі з них ($N=O$, $C-O$ і $O-Cl$) містять непов'язаний з палим вільний кисень, який вступає в хімічну реакцію з горючими компонентами зі значним виділенням тепла. Інші групи з нестійкими хімічними зв'язками ($C\equiv C$, $N=N$, $N=C$) відносно легко розпадаються.

Вибухові речовини цієї групи називають ще індивідуальними. До них належать азид срібла, азид свинцю, гримуча ртуть, нітрогліцерин, нітроксілін, нірогліколь, октоген, гексоген, тен, тротил, тенерес, тетрил, діна та ін.

Вибухові суміші являють собою такі системи, які складаються, принаймні, з двох компонентів, які пов'язані хімічно між собою. Один з компонентів, як правило, є речовиною, багатою на кисень, а другий – складається переважно з горючих елементів, при цьому не містить кисень, або містить, але в кількості, недостатній для повного внутрішньомолекулярного окиснення. Такі суміші являють собою газоподібні, рідкі, тверді або гетерогенні системи.

Приклади таких систем:

- газоподібна – суміш метану з повітрям (рудниковий газ);
- рідка – суміш горючих компонентів (бензол, толуол) з окиснювачами (азотна кислота, тетранітрометан);
- тверда – суміш основного компонента (наприклад аміачної селітри) з горючими (тротил, динітробензол та ін.) До цих систем належать порохи;
- гетерогенна – суміш аміачної селітри з нафтовим маслом, дизельним паливом, аерозолі, пило-газова суміш і т. п.

До сучасних промислових ВР висувається ряд вимог, головні з яких:

- достатня потужність, яка забезпечує необхідну механічну роботу;
- простота і безпека при виготовленні;
- зручність і безпека при поводженні з ними;
- сталість властивостей при тривалому зберіганні та застосуванні;
- безвідмовність дії при достатньому ініціюючому імпульсі;
- технічно й економічно доступні у виготовленні.

Для застосування в умовах підземного видобутку корисних копалин до окремих груп ВР висуваються такі додаткові вимоги:

- утворення мінімальної кількості отруйних газів;
- безпека застосування в шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу.

За способом збудження вибухового перетворення вибухові речовини і вибухові системи умовно класифікують на:

- первинні ініціюючі;
- вторинні ініціюючі.

Енергоємні речовини відповідно до сфер їх застосування поділяють на такі групи:

- ініціюючі (ІВР);
- бризантні або подрібнювальні (БВР);
- металеві (порохи і ракетні палива);
- піротехнічні суміші.

2.1. Ініціюючі ВР

Ініціюючі ВР застосовуються як збудники детонації в зарядах бризантних ВР. Відмінні властивості ІВР від інших бризантних ВР складаються на підставі їх здатності детонувати під впливом незначних теплових (промінь вогню) або механічних (удар, тертя, накол) зовнішніх впливів, тобто мають надзвичайно високу чутливість до механічних впливів. Речовини цієї групи характеризуються дуже малим часом зростання швидкості вибухового перетворення від початку збудження до стаціонарної детонації. В азиді свинцю, наприклад, період прискорення процесу практично відсутній, тобто процес незалежно від розмірів заряду відразу ж протікає в формі детонації.

Здатність ІВР в певних умовах порушувати хімічну реакцію в формі детонації в бризантних ВР називається здатністю ініціювати. Здатність ініціювати визначається ступенем наростання швидкості вибухового перетворення і переходом її в детонацію, тобто в хімічну реакцію з максимально можливою швидкістю перетворення, характерною для природи даного ІВР.

Здатність ініціювати ІВР залежить від щільності заряду (зі збільшенням щільності підвищується ініціююча здатність), від розміру кристалів (великі кристали мають кращу ініціюючу здатність, ніж дрібні), ступеня чистоти (наявність

домішок знижує здатність ініціювати), умови спорядження (впливають на величину ділянки розгону детонації, тобто змінюють величину мінімального імпульсу), тиску пресування, діаметра виробу, розміра гільзи і її матеріалу, товщини стінок гільзи.

Ініціюючі вибухові речовини переважно використовують у капсулях-детонаторах (КД), електродетонаторах (ЕД) та інших засобах ініціювання. Наведено деякі найбільш важливі ІВР [7–12]:

1. Фульмінат – солі важких металів гримучої кислоти, які є ізомером ціанової ($\text{HO}-\text{C}\equiv\text{N}$) та ізоціанової ($\text{H}-\text{N}=\text{C}=\text{O}$) кислот:

- гримуча ртуть $\text{Hg}(\text{CNO})_2$ – штатним ІВР;
- гримуче срібло AgCNO – ніде не застосовується.

2. Сіль азотистоводородної кислоти (HN_3) – азиди:

- азид свинцю $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ – свинцева сіль азотистоводородної кислоти, має широке застосування в засобах ініціювання (КД, ЕД);
- азид срібла AgN_3 – має обмежене застосування;
- азид кадмію $\text{Cd}(\text{N}_3)_2$ – має обмежене застосування;
- азид талію TlN_3 – має обмежене застосування.

3. Органічні азиди, що мають високу енергетику, виконують роль активного пального в ракетних і спеціальних паливах:

- ціануртріазид $\text{C}_3\text{N}_3(\text{N}_3)_3$;
- тринітродіазидобензол $(\text{N}_3)_3(\text{NO}_2)_3$.

4. Солі важких металів ароматичних оксинітросполук:

- 1,3-дигідрокси-2,4,6-тринітро-бензол, свинцю (II) тринітрорезорцинат, ТНРС, стифнат свинцю – $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}$ – застосовуються в запалювальних сумішах, оскільки має високу сприйнятливість до теплового імпульсу, використовується як добавка до азиду свинцю – легко займається і викликає детонацію капсуля;

- стифнат барію, тринітрорезорцинат барію, ТНРБ – $\text{C}_6\text{HN}_3\text{O}_8\text{BaH}_2\text{O}$ – використовуються в термостійких сумішах.

5. Тетразоли:

- тетразен, 4-гуаніда-1-тетразолідтетразен моногідрат – $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_{10}\cdot\text{H}_2\text{O}$ – псевдоініціююча вибухова речовина, сприйнятливість до удару вища, ніж у азиду свинцю; використовується в сумішах, які не викликають корозію ствола зброї; а також в накольних сумішах КД, де є добавкою до азиду свинцю;

– ртутна сіль 5-нітротетразола – $\text{Hg}(\text{N}_4\text{C}-\text{NO}_2)_2$ – ініціююча здатність вище, ніж у штатного декстринового азиду свинцю; випускається промисловістю в деяких країнах;

– свинцева сіль 5,5'-азотетразола – $\text{Pb}(\text{CN}_5\text{H}_2)_2$;

– дигідрат 5,5'-азотетразота дигідразинія – $(\text{N}_2\text{H}_5)_2\text{SO}_4$.

6. Солі феніл- і нітрофенілдіазонія:

– перхлорати діазонію – вельми обмежена сфера їх застосування, тому що характеризуються високою вибухонебезпекою, високою чутливістю до механічних і теплових впливів, отруйні;

– перхлорат 2,4-динітрофенілдіазонія – чутливість менше, ніж в азиду свинцю, запропоновано застосування в капсуль-детонаторах у самостійному вигляді або як добавка до бризантних ВР у детонаторах;

– 5,7-динітробензол-1,2,3-оксадіазол (2,4-динітрофенілдіазоній) – перспективна ІВР, знаходить застосування в нетоксичних запалювальних сумішах, використовується в капсулях-запальниках спортивних і патронів для полювання і стрільби в закритих приміщеннях.

7. Органічні перекиси використовуються як джерела вільних радикалів в органічному синтезі та промисловості:

– димер перекису ацетону – $(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2)_2$ – потужна вибухова речовина, за бризантністю вона перевершує азид свинцю, а за здатністю ініціювати – гримучу ртуть (але поступається азиду свинцю). У військовій справі не застосовується, оскільки перекис ацетону нестійка, схильна до утворення великих кристалів, летюча і як результат – непередбачувана в поведінці речовина;

– тример перекису ацетону – $(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2)_3$, – як і димер перекису, при дії сильних кислот (наприклад сірчаної кислоти) у результаті виділення великої кількості теплоти детонує.

8. Ацетіленід важких металів:

– ацетіленід срібла – $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{AgNO}_3$, – незважаючи на вибухові властивості, практичного застосування не знаходить.

9. Комплексні перхлорати використовують для спорядження особливо відповідальних засобів ініціювання, що відповідають підвищеним вимогам безпеки. Пресовані заряди горять швидко і також швидко переходять у детонацію:

– перхлорат пентаамін (5-ціано-2Н-тетразолато- N^2) кобальту (III) – речовина СР, використовувалася в США для спорядження засобів ініціювання, при прострілочних роботах, у системах піроавтоматики ракетних комплексів;

– перхлорат тетраамін-цис-біс (5-нітро-2Н-тетразолато-N²) кобальту (III) – речовина VNCP – перспективна ВР, в тому числі для лазерних засобів ініціювання;

– перхлорат трис (карбогідразид) кадмію (II) – речовина «циркон» використовується в Росії в безпечних засобах ініціювання.

Багато з вищеперерахованих речовин називають первинними ініціюючими або первинними ВР. Чутливість до удару деяких первинних ініціюючих ВР наведена в табл. 2.1.

Штатні ІВР мають ряд суттєвих недоліків.

1. Висока токсичність. Наприклад, гримуча ртуть за токсичністю аналогічна ртуті.

Таблиця 2.1

Чутливість до удару первинних ІВР на копрі Велера

Найменування ІВР	Вага падаючого вантажу, г	Верхня межа, мм	Нижня межа, мм
Азид міді II	600	70	10
Азид свинцю	975	235	70
Азид срібла	914	245	150
Гримуче срібло	600	125	70
Гримуча ртуть, сіра	600	80	50
Гримуча ртуть, біла	600	85	55
Тетразен	600	65	45
ТНРС	1215	>250	140

2. Небезпека у виробництві та поводженні, оскільки вони високочутливі до удару, тертя, зарядів статичної електрики.

3. Недостатньо висока швидкість детонації, у тому числі й у пресованих зарядах (менше 5 км/с), що не задовольняє вимогам розробки нових потужних і одночасно мініатюрних засобів ініціювання.

2.1.1. Деякі фізико-хімічні характеристики найбільш поширених ІВР

АЗИД СВИНЦЮ – кристалічна речовина білого кольору щільністю 4,71 г/см³. Щільність пресованого заряду становить 3,5 г/см³. Під дією зовнішнього впливу детонує без попереднього горіння. При зволоженні майже не втрачає чутливості до зовнішніх впливів. Кристалічний азид свинцю негігроскопічний, погано розчиняється в воді та органічних розчинниках. Існує в чотирьох модифікаціях – α , β , γ і δ . При щільності 2 г/см³ швидкість детонації азиду свинцю дорівнює 3880 м/с. Зміна швидкості детонації від зміни щільності описується рівнянням:

$$D_p = D_0 + 860(\rho - \rho_0) \text{ м/с, где } \rho_0 = 2 \text{ г/см}^3.$$

Тиск детонації азиду свинцю залежить від щільності:

$$P = (58 \cdot \rho - 99) \cdot 10^2, \text{ МПа.}$$

Залежно від умов досліджень температура спалаху азиду свинцю становить 315...360 °С. Ініціююча здатність вище, ніж у гримучої ртуті, проте гірше загоряється. Токсичний.

Вологий азид свинцю в присутності діоксиду вуглецю розкладається з виділенням HN_3 . З металевим алюмінієм азид свинцю не реагує. Взаємодіє з металевою міддю, утворюючи чутливий до механічних впливів азид міді, що значно прискорюється в присутності вологи і вуглекислоти повітря. Під дією сонячного світла в вакуумі розкладається на свинець і азот. При тривалому зберіганні на повітрі білий порошок азиду свинцю поступово жовтіє внаслідок утворення карбонату свинцю.

Стійкий до дії температури. При +80 °С мінімальні заряди після 4-х років витримки не змінилися. Поріг термостійкості – до 200 °С (після 6 годин при цій температурі зберігає свої вибухові властивості).

Застосовується для спорядження КД, ЕД, проте внаслідок відносно малої чутливості до променю вогню при спорядженні КД між джерелом вогню й азидом свинцю поміщають невеликий шар тринітрорезорцината свинцю (ТНРС) як більш чутливої ІВР до променю вогню. Застосовується в термоелектродетонаторах ТЕД-200 (200 °С – максимальна температура використання). Азид свинцю стабільно працює в оксиліквітних ВР при низькій температурі (до –183 °С).

Азид свинцю в усьому світі є основною штатною ІВР; використовується з 1912 р. З 1947 р. використовується головним чином (близько 95 %) декстриновий азид свинцю. Мінімальний заряд декстринового азиду свинцю за тротилом – 0,1 г, за тетрилом – 0,025 г, за гексогеном – 0,015 г.

ГРИМУЧА РТУТЬ – кристалічна речовина білого або сірого кольору щільністю 4,42 г/см³. Гравіметрична щільність становить 1,22...1,25 г/см³. Заряди гримучої ртуті в пресованому вигляді (тиск пресування 300 кг/см³) мають щільність 3,2 г/см³. При дії променя вогню гримуча ртуть запалюється і цей хімічний процес швидко переходить у детонацію. При кімнатній температурі стійка і може зберігатися тривалий час. Розпад гримучої ртуті, що призводить до втрати здатності ініціювати, протікає при температурі +60 °С протягом місяця. Температура спалаху знаходиться в діапазоні 180...210 °С і залежить від умов досліджень. Теплота вибуху – 1485 кДж/кг. Швидкість детонації залежить від щільності заряду: у діапазоні щільності 1,25...4,2 г/см³ швидкість становить 2300...5400 м/с.

Для знищення відходів гримучої ртуті використовують луги (всі луги будь-якої концентрації розкладають гримучу ртуть).

При збільшенні тиску умови переходу в детонацію погіршуються. Запресована під тиском понад 800 кг/см³ в габаритах гільзи КД № 8 гримуча ртуть тільки згорає (явище «перепресовки»).

Розчиняється в воді, ацетоні, піридині, у водному розчині аміаку.

Чиста гримуча ртуть не гігроскопічна. Гігроскопічність зростає в міру збільшення домішок.

У вологому стані гримуча ртуть взаємодіє з багатьма металами і солями. 30 % вологи робить її нечутливою до механічних впливів. З металевим алюмінієм і магнієм реакція протікає бурхливо, іноді з вибухом, тому її пресують у мідну або латунну оболонку. **Спорядження в алюмінієву оболонку заборонено.**

Використовується гримуча ртуть при спорядженні капсуль-детонаторів і в ударних сумішах – капсуль-запальників.

До недоліків гримучої ртуті відносять:

- відносно невисока температура спалаху;
- відмови в роботі засобів ініціювання в зв'язку з флегматизацією водою;
- відносно невелика здатність ініціювати, що не дозволяє знижувати габарити КД;

– токсичність і висока реакційна здатність по відношенню до металів, що обмежує вибір матеріалів оболонок.

ТРИНІТРОРЕЗОРЦИНАТ СВИНЦЮ (ТНРС, стифнат свинцю) – кристалічна речовина від оранжево-жовтого до темно-коричневого кольору щільністю 3,1 г/см³. Перехід горіння в детонацію відбувається в тому разі, якщо щільність ТНРС відповідає насипній, причому згорання порівняно велике як для ініціюючих ВР. Навіть при слабкому пресуванні ТНРС піддається перепресовці. У пресованому стані ТНРС, на відміну від бризантних ВР, горить з відносно великою швидкістю. Практично не розчиняється у воді, ефірі, хлороформі, бензолі й толуолі. Слабо розчинний в ацетоні та спирті. Розчинний у формаїді. При дії кислот ТНРС розкладається на стифнінову кислоту і відповідну сіль свинцю. Теплота вибуху 1549 кДж/кг. Швидкість детонації 5200 м/с при щільності, близькій до щільності монокристалів.

При нагріванні вище 100 °С втрачає кристалізаційну воду, при 200 °С швидко розкладається, а при температурі 240 °С вибухає. Температура спалаху 280 °С.

Чутливість до удару менше, ніж у азиду свинцю, а до тертя – вище. ТНРС чутливий до статичної електрики, від якої ТНРС легко вибухає і легко загоряється. Кристалічний стифнат свинцю застосовують у ряді конструкцій запалів, де необхідна підвищена чутливість до теплового імпульсу; флегматизований ПАР використовують у КД і капсуль-запальниках.

Стифнат свинцю як основна ініціююча речовина для збудження детонації зарядів БПР не застосовується.

Основні вимоги, що висуваються до ІВР [8]:

1. Висока здатність ініціювати (мінімальна кількість ІВР, що зберігає здатність ініціювати детонацію заряду БВР). У сучасних детонатор застосовуються КД діаметром близько 3 мм і довжиною 4 мм.

2. Безпека у поводженні.

3. Хороша сипучість і пресованість (вимога висувається з метою безпеки автоматизації процесу спорядження).

4. Стійкість до температур (речовина має безвідмовно працювати в температурному інтервалі від –60°С до +60°С).

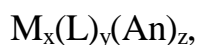
У зв'язку з використанням засобів ініціювання в специфічних умовах до ІВР виникають кілька додаткових вимог.

1. Підвищена термічна стійкість.

2. Хороша сприйнятливість до променю вогню.
3. Сприйнятливість до удару бойком (вимога до ВР з запальною речовиною, які ініціюються від удару – гримуча ртуть + бертолетова сіль + сірка або інші багатокomпонентні суміші).
4. Висока швидкість детонації (у сучасних КД детонація ІВР повинна перевищувати 6000 м/с).
5. Стійкість до зарядів статичної електрики (повинні витримувати електричний розряд, еквівалентний заряду тіла людини).

2.1.2. Світлочутливі екологічно безпечні енергонасичені речовини

Дослідження, проведені в США, Росії, Китаї, показали, що менш токсичними, більш потужними і при цьому більш безпечними є координаційні сполуки загальної формули:



де М – катіон металу; L – ліганд; An – аніон кислоти, як правило окиснювача.

Пріоритетними напрямками в галузі синтезу ІВР слід вважати пошук безпечних, екологічно чистих (які не містять важких металів) енергонасичених металокомплексів і нанокomпозицій, у тому числі високочутливих до імпульсного лазерного випромінювання як найбільш безпечного і надійного джерела енергетичного імпульсу.

Протягом останніх 25 років у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» разом з фахівцями Санкт-Петербурзького технологічного університету розроблено й отримано ініціюючі ВР нового класу, основною властивістю яких є аномально висока чутливість до хімічного перетворення в детонаційній формі при впливі лазерного випромінювача певної довжини хвилі.

У порівнянні з азидом свинцю чутливість деяких нових ІВР до лазерного моноімпульсу вище майже в 100 разів. Однак чутливість до теплових і механічних впливів практично відповідає аналогічним характеристикам ТЕНу. Деякі з них вибухають тільки при дії лазерного променя. Такі вибухові речовини можуть бути використані як первинні в оптичних детонаторах (ОД) або як звичайні БВР при проведенні спеціальних підривних робіт.

ГЕКСАМЕТИЛЕНТРИПЕРОКСИДАМІН, ГМТД, пероксид уротропіну, $N-(CH_2-O-O-CH_2)_3-N$. Білі дрібні ромбічні кристали, практично нерозчинні у воді, спирті, ацетоні. Не летючий. На світлі не змінюється. Не гігроскопічний. Сильно кородує метали, особливо у вологому стані. Концентрована сірчана кислота і бром викликають вибух. Може поступово розкладатися при зберіганні з появою запаху формаліну, у зв'язку з чим не рекомендується зберігати більше 2-3 місяців. Щільність насипна 0,5...0,9 г/см³, щільність монокристала – 1,3 г/см³. Швидкість детонації 4560 м/с при 0,88 г/см³ і 5100 м/с при 1,1 г/см³. Працездатність 340 см³. За бризантністю значно перевищує гримучу ртуть. ГМТД не перепресовується.

Чутливий до нагрівання і тертя. Чутливість до удару менше, ніж у гримучої ртуті. Здатність ініціювати більше, ніж у гримучої ртуті, але менше, ніж у азиду свинцю.

Сприйнятливий до вогню – на відкритому повітрі не пресований ГМТД від променя вогню швидко згоряє. Детонує навіть у разі, якщо легко запресувати в паперову трубку.

Застосовується як ініціююча вибухова речовина. Відносно чистого ГМТД чутливість суміші, що складається з ГМТД і оптично прозорого полімеру ПМВТ-3М, до механічних і теплових впливів знижується, однак при цьому різко зростає чутливість до дії імпульсного лазерного випромінювання.

ПЕРХЛОРАТ (5-ГІДРАЗІНОТЕТРАЗОЛ-1Н) РТУТІ (II) – являє собою кристалічну речовину білого кольору. Молекулярна маса 499,571, кисневий баланс +12,8 %. Швидкість детонації при щільності 3,4 г/см³ – 6000 м/с. Температура спалаху 186 °С. Потужне ІВР, що має досить високу чутливість до дії імпульсного лазерного випромінювання, поріг ініціювання 5 мДж/см².

Речовина негігроскопічна, нерозчинна в воді, спирті, ацетоні, аліфатичних, хлорованих і ароматичних вуглеводнях. Розчиняється в диметилсульфоксиді. Чутливість до удару на копрі Велера становить 60/125.

Введення в комплексний перхлорат ртуті оптично прозорої полімерної матриці (полімер РМВТ) дозволяє не тільки захистити порошок від зовнішніх механічних та інших впливів, але і флегматизувати даний перхлорат, істотно знизивши його чутливість до механічних впливів. Створений композит отримав назву ВС-2, кисневий баланс якого близький до нуля.

Склад ВС-2 має екстремально високу чутливість до дії лазерного моноімпульсу (діаметр променя 4 мм, довжина хвилі 1,06 мкм, час імпульсного впливу

30 нс). Мінімальний поріг ініціювання становить $2,3 \text{ мДж/см}^2$, що значно менше, ніж у пресованого азиду свинцю. У табл. 2.2 наведені залежності чутливості зарядів ВС-2 від тривалості лазерного імпульсу.

Введення до 3 % детонаційних наноалмазів у ВС-2 знижує поріг сприйнятливості на 17...40 %.

Використовується як первинне ІВР в оптичних детонаторах лазерної системи підривання.

Таблиця 2.2

Залежність чутливості складу ВС-2 від довжини імпульсу [14]

Тривалість імпульсу, с	Діаметр зони опромінення, мм	Енергія ініціювання, мДж	Щільність енергії ініціювання, мДж/см ²
$30 \cdot 10^{-9}$	0,48	$1,8 \cdot 10^{-2}$	10,14
$30 \cdot 10^{-6}$	1,02	2,52	308,4

ВНСР – ТЕТРОЗОЛАТНИЙ ТЕТРААМІНАТ (ІІІ) – використовується в піроавтоматиці ракетних комплексів у США. Заряди стабільно запалюються з вільної поверхні при дії променя неодимового лазера з енергією 1,5 Дж протягом 2 мс. Довжина хвилі неодимового лазера 1,06 мкм. Час затримки ініціювання залежить від розмірів кристала ВНСР і становить 320...500 мкс.

Недоліком цієї світлочутливої ВР є тривалий період затримки переходу горіння в детонацію при імпульсному лазерному ініціюванні.

КОМПЛЕКСНИЙ ПЕРХЛОРАТ МІДІ (ІІ) – енергонасичена світлочутлива речовина. За даними авторів [14], порошок комплексу міді 17 являє собою вискодисперсний матеріал, що складається з частинок з вираженим огранюванням, середній розмір яких 0,5 мкм.

Чутливість до механічних впливів відповідає рівню штатних ініціюючих ВР, що не забезпечує сучасні вимоги з безпеки. Зниження чутливості комплексу перхлората міді до механічних впливів досягається флегматизацією – додаванням порошкового комплексу в матрицю з інертного оптично прозорого полімеру. Чутливість до механічних впливів отриманих високоенергетичних сумішей знижується до рівня ТЕНу або СL-20, тобто комплекс міді 17 стає досить безпечним як при зберіганні, так і при перевезенні та застосуванні.

2.2. Бризантні ВР

Детонація в бризантних вибухових речовинах (БВР) може бути викликана дією великих зовнішніх впливів. Відносно легко детонацію збуджують ударно-хвильовим впливом, зазвичай за допомогою первинних ІВР, якими споряджають капсуль-детонатори або електродетонатори. Основним видом хімічного перетворення БВР є детонації.

У бризантних ВР вибухові характеристики значно вище ніж у ініціюючих ВР. Так, тиск продуктів вибуху і швидкість детонації БВР досягають відповідно 40 ГПа і 10,2 км/с, температура перевищує 3000 °С, енергія вибуху становить 4...6 МДж/кг. Представники цієї групи – одні з найбільш поширених ВР:

1. О-нітросполука:

- нітрогліцерин – тринітрат гліцерину,
- ТЕН – тетранітротпентаерітрит,
- діетіленглікольдинітрат,
- нітрат целюлози.

2. С- нітросполука:

- тетрил (тринітротолуол),
- нітробензол,
- пікринова кислота (тринітрофенол),
- тетранітрометан – С-(NO₂)₄.

3. N-нітросполука:

- тетрил (тринітрофенілметилнітрамін),
- дина (діетаноламі-нітраміндинітрати),
- гексоген (циклотриметилентринітрамін),
- октоген (циклотетраметілентетранітрамін).

4. Механічні суміші:

- амоніти (суміші на основі аміачної селітри),
- динаміти (суміші на основі нітрогліцерину),
- сплави тротил-гексоген (ТГ) та ін.,
- пластичні й еластичні ВР на основі потужних БВР.

ТРОТИЛ (тринітротолуол, тол) C₇H₅(NO₂)₃ – ВР класу хімічних сполук (однокомпонентна ВР). Вперше отриманий у 1863 р., а в 1891 р. його стали випускати як промисловий продукт у багатьох країнах світу. Кристали чистого тротилу мають колір від світло- до темно-жовтого.

Насипна щільність тротилу $0,9 \text{ г/см}^3$. Щільність литого тротилу $1,54...1,59 \text{ г/см}^3$; в розплавленому стані – $1,467 \text{ г/см}^3$. При пресуванні під тиском $4 \cdot 10^8 \text{ Па}$ щільність тротилу досягає $1,6 \text{ г/см}^3$. Щільність монокристалів $1,663 \text{ г/см}^3$. Тротил практично не розчиняється у воді; в толуолі й ацетоні розчиняється легко.

До самозаймання і саморозкладання не здатний. Температура спалаху тротилу близько $310 \text{ }^\circ\text{C}$. Спалах вибухом не супроводжується. Горіння тротилу в замкнутому просторі або великих мас може призвести до вибуху. Температура плавлення $80,6...80,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Сприйнятливість тротилу до ініціювання можна (в міру її зменшення) подати таким рядом: порошкоподібний, пресований, лускатий, гранульований, литий. Пресований тротил ініціюють капсуль-детонатором (КД) або декількома витками детонувального шнура (ДШ). Для вибуху литого тротилу потрібно проміжний потужний детонатор з пресованих шашок тротилу або патронів амоніту.

Теплота вибуху тротилу при щільності $0,85 \text{ г/см}^3$ і $1,5 \text{ г/см}^3$ складає відповідно 810 і 1010 ккал/кг (4228 кДж/кг). Швидкість детонації сухого гранульованого тротилу в відкритих зарядах діаметром 60 мм становить $2,7...3,3 \text{ км/с}$, у водонаповненому стані – 6 км/с , максимальна швидкість детонації – 7 км/с .

Критичний діаметр детонації сухого гранульованого тротилу в відкритих зарядах близько 60 мм , водонаповненому $25...30 \text{ мм}$, кисневий баланс -74% . Працездатність водонаповненого гранульованого тротилу за пробою Трауцля дає $310...315 \text{ см}^3$, сухого порошкоподібного – 285 см^3 .

Бризантність водонаповненого гранульованого тротилу складає 23 , сухого гранульованого – 9 , а тонкоподрібненого – 16 мм .

У даний час через токсичність практично всі країни світу не виготовляють тротил і не використовують його в промисловості. Так, у США тротил не виготовляється з 1965 року.

ТЕТРИЛ (тринітрофенілметилнітрамін) – $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{N}(\text{NO}_2)\text{CH}_3$ – білий кристалічний порошок, технічний перекристалізований, являє собою кристали світло-жовтого або жовтого кольору. Вперше одержаний у 1877 році.

Щільність монокристала тетрилу $1,725 \text{ г/см}^3$; насипна $\sim 1 \text{ г/см}^3$, а пресованого $1,68 \text{ г/см}^3$. У литому вигляді не застосовується.

Чутливий до механічних і теплових впливів. Температура плавлення 129,45°C. Теплота вибуху 1150 ккал/кг (4815 кДж/кг). Горіння зазвичай закінчується вибухом. Максимальна швидкість детонації близько 7,6 км/с.

Використовують у детонаторах (ЕД, КД) як вторинна ініціююча ВР, для виготовлення шашок – проміжних детонаторів.

ГЕКСОГЕН (циклотриметилентринітрамін, циклон, RDX) – $C_3H_6N_6O_6$ – кристалічний білий порошок з насипною щільністю 1,1 г/см³. Вперше отримано в 1837 році. Монокристал має щільність 1,8 г/см³. Температура плавлення ~ 204°C. Надзвичайно токсичний, хімічно стійкий, у воді не розчиняється. Пресується погано. Швидкість детонації при щільності 1,72 г/см³ становить 8,46 км/с. Максимальна швидкість детонації при щільності 1,806 г/см³ – 8,85 км/с.

Температура спалаху 290°C. Чутливість до удару 30 см. Теплота вибуху в пресованому вигляді 1300 ккал/кг (5392 кДж/кг); працездатність за пробою Трауцля 475 см³. При випробуваннях за стандартною пробою Гесса навішування гексогену руйнує свинцевий стовпчик.

Застосовується як вторинна ініціююча ВР в детонаторах; в суміші з тротилом або в сплаві з тротилом у вигляді шашок ТГ; як сенсibilізатор у деяких сортах потужних амонітів (наприклад в амоніті скельному № 1). Гексоген флегматизують воскоподібними речовинами в сумішах А-ІХ-І, А-ІХ-2 або спеціальним лаком у складі ГФГ-2; з тротилом або алюмінієм – шашки ТГА; у вигляді пластичних і еластичних ВР – на основі гексогену. Використовують у деяких типах твердих ракетних палив як активне пальне.

ОКТОГЕН (циклотетраметилентетранітрамін, НМХ) – $C_4H_8N_8O_8$ – кристалічний білий порошок; щільність монокристалів 1,9 г/см³; температура плавлення з розкладанням 281°C. Температура спалаху 335°C. Токсичний. Максимальна швидкість детонації близько 9,25 м/с. Отриманий у 1941 р.

Має високу термостабільність. Входить до складу твердих ракетних палив. Питома теплота вибуху 1354 ккал/кг (5668 кДж/кг).

Його використовують у зарядах для перфорації глибоких нафтових свердловин з температурою вище 180°C. Має 4 кристалічних модифікації. Одна з них – β-модифікація, що є стабільною формою, має найменшу чутливість до механічних впливів.

Використовується як високоенергетична добавка в тверді ракетні палива. Порошок розміром частинок до 20 мкм застосовують у пластикових хвилеводах неелектричної системи ініціювання «Прима-ЕРА». Україна октоген не виробляє. Отримують на Павлоградському хімічному заводі при утилізації сумішевих твердих ракетних палив.

ТЕН (тетранітропентаерітрит) – $C_5H_8(ONO_2)_4$ – отримано в 1894 році. Кристалічний порошок білого кольору. Щільність монокристалів $1,728 \text{ г/см}^3$. Вологи не боїться. Швидкість детонації $8,2 \dots 8,7 \text{ км/с}$. Температура спалаху 255°C , температура плавлення з розкладанням $\sim 141^\circ\text{C}$, працездатність 500 см^3 . Чутливість до удару 30 см. Хімічно стійка речовина. Теплота вибуху 1480 ккал/кг . Бризантність висока: свинцевий стовпчик руйнується.

Невеликі кількості ТЕНу згорають спокійно; при підвищеному тиску горіння переходить у вибух. Більш чутливий до удару, ніж гексоген, але більш стабільний. Випускається як в чистому вигляді, так і флегматизованим парафіном та іншими подібними речовинами.

Критичний діаметр детонації ТЕНу при щільності 1 г/см^3 дорівнює 3 мм. Мінімальний критичний діаметр детонації 1 мм.

У чистому вигляді він застосовується тільки для спорядження детонаторів, а також як добавка у ракетне паливо.

Використовується як вторинна ініціююча ВР до деяких КД і в детонувальних шнурах. Сплави ТЕНу з тротилом, які мають назву пентолітів, йдуть на спорядження боєприпасів невеликого калібру. Застосовується для виготовлення пластитів і еластитів. Використовують як медичний препарат під назвою «Ерін», який є аналогом нітрогліцерину. Крім цього, ТЕН знайшов широке застосування в детонувальних шнурах, оскільки має критичний діаметр детонації 1 мм.

НІТРОГЛІЦЕРИН (тринітратгліцерина, НГ, НГЦ) – $C_3H_5(ONO_2)_3$ – важка масляниста і безбарвна рідина щільністю $1,6 \text{ г/см}^3$, синтезований італійським хіміком А. Собреро в 1846 р. Технічний гліцерин має жовтувато-коричневий колір. Твердне при $+13,2^\circ\text{C}$. Теплота вибуху 6040 кДж/кг . Максимальна швидкість детонації $7,6 \text{ км/с}$. Працездатність 550 см^3 . Отруйний, при контакті зі шкірою людини викликає головний біль.

Застосовується як сенсibilізатор при виготовленні деяких запобіжних ВР: побідиту, вугленіту, сірчаного і нафтового амонітів. Єдина штатна БВР рідка та єдина з позитивним кисневим балансом.

НІТРОГЛІКОЛЬ – $C_2H_4(ONO_2)_2$ – прозора рідина з питомою вагою $1,5 \text{ г/см}^3$. Твердне при -20°C . У суміші з нітрогліцирином утворює розчини, що мають температуру затвердіння від -17°C до -23°C . Хімічно стійкий; теплота вибуху 7120 кДж/кг , швидкість детонації $7,4 \text{ км/с}$; працездатність 600 см^3 .

При роботі з нітрогліколем потрібна особлива обережність – неприпустимий контакт відкритих поверхонь тіла. Сфера застосування така сама, як і в нітрогліцерину.

Такі БВР, як нітрогліцерин і ТЕН, мають високу чутливість до удару і в чистому вигляді вибухонебезпечні. Тротил, наприклад, не детонує навіть при прострелі кулею. При спалюванні одночасно великих мас або ВР, що розміщена в металевій оболонці, як правило, переходить у детонацію.

ТЕН, гексоген, тетрил використовуються при виготовленні засобів ініціювання основних зарядів ВР – у детонувальних шнурах (ДШ), капсюль-детонаторах (КД) і електродетонаторах (ЕД).

У другій половині ХХ століття був синтезований і вивчений ряд потужних бризантних ВР, що мають рекордні значення швидкості детонації $9,1 \dots 10,2 \text{ км/с}$ (табл. 2.3).

У даний час найбільш перспективними серед потужних ВР є CL-20 і частково TNAZ.

ПЛАСТИЧНІ Й ЕЛАСТИЧНІ ВР є високоенергетичні гетерогенні системи, що складаються з наповнювача – гексагена або мікрокристалічного ТЕНу, як сполучна – з пластифікованого полімеру. Пластичні ВР випускають у вигляді ниток, шнурів, стрічок і листів різної товщини (від 1 до 20 мм). Призначені для спеціальних видів вибухових робіт, у тому числі для зварювання, зміцнення і штампування металів вибухом, боротьби з лісовими пожежами і т. д. При низьких температурах деякі марки цих ВР стають крихкими і легко розламуються.

У холодній воді зберігають свої властивості невизначено довго, у теплій воді розм'якшуються і їм можна надавати необхідну форму. Розчиняються в ацетоні. Чутливі до первинних засобів ініціювання.

Властивості потужних бризантних ВР

Вибухові речовини	Щільність монокристалів, г/см ³	Температура плавлення, °С	Ентальпія утворення, ккал/кг (кДж/кг)	Питома теплота вибуху, ккал/кг (кДж/кг)	Швидкість детонації, км/с (при щільності заряду ВР, г/см ³)
Гексанітробензол	2,0	249	135,02 (565,2)	1670 (6992)	9,5 (1,90)
4,4'-динітроазофуроксан	2,0	128	470 (1967,4)	1788 (7484,6)	10,2 (2,0)
Біс-нірофуразаніловий ефір	1,907	62	331,8 (1389)	1610 (6738)	9,2 (1,9)
3,4-біс (4-нітрофуразанніл) фуроксан	1,93	109-110	496 (2075)	1457 (6097)	9,25 (1,93)
Азоксі-біс (нітрофуразанніл-О,N,N-азоксі) фуразан	1,88	148	715,7 (2995)	1446 (6052)	9,5 (108)
Гексанітрогексаазаізовюртцитан (CL-20)	2,04	240	230,5 (964,9)	439 (6023,6)	9,49 (2,0)
1,3,3-тринітроазетидін (TNAZ)	1,84	101	45,3 (189,6)	1460 (6111,6)	9,10 (1,84)
4,4'-динітроазоксифуразан (ТАТИН)	1,82	110-112	565,0 (2365)	1395 (6781,3)	9,13 (1,8)
1,3,4,6-тетранітротетрагідромід-азо[4,5-d] імідазол-2,5(1H,3H)-діон (ТНГУ, Со-ржил)	2,03	249	11,8 (49,4)	1395 (5839,5)	9,15 (2,0)

2.2.1. Термостійкі ВР

Термостійкими називають такі ВР, які здатні без суттєвих змін зберігати свої вибухові властивості й енергетичні характеристики при підвищених температурах. Поріг термостійкості характеризується максимальною температурою, при якій втрата маси протягом 6 годин не перевищує 2 %. Відомі термостійкі ВР

– азид свинцю (ініціююча ВР), гексоген, октоген, тринітробензол, триамінотри-нітробензол, тринітрофенілендіамін та ін. Відносно нові термостійкі ВР витримують температуру 250 – 300 °С без зміни вибухових характеристик – гептанітротрифеніламін (НТФА) гексанітростильбен (ГНС), октанітротерфеніл (октиніт), властивості яких наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Властивості термостійких ВР

Вибухові речовини	Температура T, °С	Щільність монокристала, г/см ³	Питома теплота вибуху, кДж/кг	Швидкість детонації, м/с (при щільності, г/см ³)
Гептанітротрифеніламін (НТФА)	275	1,70	4856	7400 (1,7)
Гексанітростильбен (ГНС)	260	1,74	4563	7200 (1,74)
Октанітротерфеніл (октиніт)	300	1,82	4353	7600 (1,7)

Для оцінки термостабільності розраховували період напіврозпаду БВР [15] при умовній температурі 20 °С (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Період напіврозпаду штатних бризантних ВР

Вибухові речовини	Енергія активації напіврозпаду E _a , кДж/моль	Логарифм передекспоненціального множника у рівнянні Арреніуса lg k ₀	Період напіврозпаду, рік
ТЕН	196,9	19,8	4,6·10 ⁷
Гексоген	199,0	18,5	2,2·10 ⁹
Октоген	220,8	19,7	1,1·10 ¹²
Тротил	224,1	19,0	2,1·10 ¹³

2.3. Метальні ВР

До металевих ВР належать порохи і ракетні палива. Службовим видом перетворення ракетних палив і порохів є горіння, яке протікає за рахунок пального й окиснювача, що містяться в них. У разі використання потужного ініціюючого

імпульсу можуть детонувати. При утилізації ракет тверде паливо використовують у вигляді добавок в промислові ВР; розроблено технологію синтезу ультрадисперсних алмазів при підриванні твердого ракетного палива. Оптимальним для ракетного пороху та сумішевого ракетного твердого палива є кисневий коефіцієнт порядку 0,65 – 0,70 (кисневий коефіцієнт характеризує вміст у паливі окиснювальних елементів по відношенню до необхідних для повного згоряння горючих компонентів).

Вибухове перетворення димного пороху при порушенні іскрою або полум'ям відбувається в формі вибухового горіння, швидкість якого завжди менше швидкості детонації і вимірюється сотнями метрів на секунду. При порушенні вибуху КД або детонувальним шнуром димний порох здатний детонувати. Використовують порох у вогнепровідних шнурах (ВШ), як заряди при відбійці деяких видів будівельного каменю та в інших операціях, що вимагають здійснення механічної роботи.

ПОРОХИ є багатокомпонентними механічними системами і поділяються на димний (чорний) і бездимний порох. Димний порох відомий з XI століття. У його склад входять KNO_3 (75 %), деревне вугілля (15 %) і сірка (10 %). Використовують димний порох у вогнепровідних шнурах (бікфордові шнури) як мисливський порох.

Головна вимога, що висувається до порохів, – надійна стійкість горіння в жорстких умовах застосування (висока швидкість наростання тиску від десятків і сотень МПа, перепади температури та ін.).

Бездимні порохи або порохи колоїдного типу використовуються в стрілецькій зброї, артилерійських снарядах і як ракетне паливо. Основним компонентом є нітроцелюлоза різного ступеня нітрації (так, динітрат целюлози містить 11,11 % азоту, тринітрат – 14,14 % і т. д.). Целюлоза є гідроксилмісткий природний полімер класу полісахаридів. Нітрати целюлози зазвичай містять 12,5 – 13,5 % азоту (їх називають піроксиліном) або 11,5 – 12 % (колоксилін). При желатинізації нітроцелюлози використовують пластифікатори різної природи, що зумовлює розподіл цих порохів на ряд груп.

У ракетних системах в основному застосовують композиції, що містять окиснювач (в основному це NH_4ClO_4), пальне (пудра алюмінієва), іноді потужну індивідуальну ВР.

ЛАЗЕРНІ ПОРОХИ, розроблені порівняно нещодавно, є спеціальним паливом, що забезпечує при згорянні високотемпературну суміш продуктів суворо

певного складу, здатних у визначених умовах генерувати когерентне електромагнітне випромінювання з необхідною довжиною хвилі. До складу лазерно-активного середовища входять як мінімум 2 – 3 газові компоненти (оксиди вуглецю, молекули води, азоту та ін.) [14].

РАКЕТНІ ПАЛИВА є сумішевими системами і можуть бути рідкими, твердими і комбінованими. Основні компоненти рідкого палива – рідке пальне і рідкий окиснювач. Як рідке пальне використовують водень, гас, гідриди металів, несиметричний диметилгідразин. Основою рідкого окиснювача є фтор, окис фтору, кисень, суміш фтору з киснем, азотна кислота, тетранітрометан та ін.

Основним компонентом твердого ракетного палива (сумішевого твердого ракетного палива – СТРП) є кристалічний окиснювач: амонієва сіль динітратової кислоти, перхлорат амонію та ін. Як пальне використовують каучук, який є одночасно і сполучним компонентом. Крім цього, в СТРП додають різні пластифікатори, закріплювачі, горючі добавки – потужні БВР (наприклад, октоген, гексоген), порошки і гідриди металів, стабілізатори.

При утилізації СТРП і виконанні інших робіт слід враховувати високу потенційну небезпеку, пов'язану зі змінами фізико-хімічних характеристик, що відбулися за час тривалого зберігання: зміна вибухових характеристик, погіршення еластичності й міцності, порушення суцільності зарядів, поява дефектів (тріщини, відшарування та ін.), зниження чутливості до удару і тертя.

Виробництво, експлуатація, зберігання й утилізація виробів, що містять ракетне паливо, супроводжується серйозним впливом на екосистеми продуктів згоряння: HCl, HF, NO₂, CO та ін.

При вирішенні завдань створення нових сумішевих твердих палив пріоритетними вважаються дослідження, що направлені на розробку і виготовлення потужних сумішевих палив з низьким ступенем токсичності відпрацьованих газів, які після закінчення гарантійних термінів зберігання піддаються утилізації за екологічно безпечними енергозбережними технологіями з повторним використанням регенерованих компонентів.

ПІРОТЕХНІЧНІ СУМІШІ – механічні суміші неорганічних окиснювачів з органічними або металевими горючими речовинами і технологічними добавками. Горіння є основною формою хімічного перетворення. Піротехнічні суміші використовують у різних галузях національної економіки та оборонній техніці, їх класифікують так: ударні, електрозапалювальні, запалювальні, малогазові, безгазові, уповільнюючі, запальні, димові, трасуючі, звукові та інші. За певних

умов вони можуть детонувати (у 21-му столітті вибухи на заводах піротехнічних засобів у Нідерландах, Італії, Іспанії, Китаї та інших країн).

2.4. Сумішеві ВР для промислових підривних робіт

Більшість промислових вибухових речовин (ПВР) являють собою суміш хімічно різнорідних матеріалів; як правило, вони випускаються у вигляді порошків, гранул або суспензій, що складаються з компонентів з частинками різних розмірів і форм, вони мають різні фізичні властивості й агрегатний стан. Такі неоднорідності є причиною фізико-хімічних особливостей збудження і розвитку детонації, процесу вибуху, за багатьма параметрами відрізняються від закономірностей вибуху індивідуальних ВР.

Основні компоненти промислових ВР. Особливі властивості промисловим вибуховим речовинам надають такі компоненти, як окиснювачі, флегматизатори, сенсibilізатори, структуроутворюючі, горючі й гідрофобні добавки та ін.

Окиснювачі – речовини, що містять надлишковий кисень, який витрачається під час вибуху на окиснення горючих елементів (аміачна селітра – AS , калієва селітра – KaC , натрієва селітра – NaC і т. д.).

Горючі добавки – тверді або рідкі речовини, як правило, невибухові – тонкоподрібнене вугілля, деревне борошно, солярове масло. Горючі добавки вводять до складу ВР для збільшення кількості енергії, що виділяється при вибуху. Роль горючих добавок виконують також ВР (тротил, гексоген та інші), що мають у своєму складі недостатню кількість кисню для повного окиснення горючих елементів, які в них містяться.

Полум'ягасники вводять до складу тільки запобіжних ВР для зниження температури вибуху і зменшення ймовірності займання метаноповітряних та пиллоповітряних сумішей у шахтах. Як полум'ягасники найчастіше вводять $NaCl$ і KCl . Полум'ягасники не беруть участі в реакції під час вибуху, тільки нагріваються і випаровуються, знижуючи тим самим температуру газів вибуху.

Сенсibilізатори – речовини, що вводяться до складу ВР для підвищення його чутливості до сприйняття і передачі детонації. Це, як правило, потужні ВР (тротил, гексоген, нітроефіри), чутливі до ініціюючого імпульсу, які в суміші малочутливих вибухових речовин (AS і т. п.) з невибуховими (деревна або бавовняне борошно) забезпечують нормальну чутливість такої сумішевої ВР до ініціювання. Роль сенсibilізатора можуть виконувати і невибухові речовини (горючі

добавки): солярове масло, деревне борошно або вугілля. При цьому утворюються простіші сумішеві ВР: динамони, ігданіти, грануліти.

Стабілізатори (деревна, торф'яна мука та ін.) вводять для підвищення хімічної і фізичної стійкості ВР.

Флегматизатори – легкоплавкі речовини, масла; мають високу теплоємність і високу температуру спалаху, що обволікають частинки ВР і не вступають з нею в реакцію. Введення флегматизаторів знижує чутливість ВР до механічних впливів і забезпечує більш безпечні умови його застосування. Часто використовують вазелін, парафін і різні масла.

Горючі та інші добавки аміачно-селітряних ВР. До складу аміачно-селітряних ВР входять невибухові органічні горючі добавки, багаті горючими елементами (H_2 , C), які окиснюються через надлишковий кисень АС з виділенням тепла (деревне борошно, борошно бавовняної макухи).

Як добавки використовують карбамід (сечовину) – $CO(NH_2)_2$. Карбамід з аміачною селітрою (48/52) утворює суміш з $T_{\text{плавл}} = 48^\circ C$, а при 15 % карбаміду суміш плавиться при $75^\circ C$.

Рідкою горючою добавкою (5 %) є солярове масло всіх випускаючих марок. Використовують при виготовленні гранулітів.

Широко застосовується як тверді горючі добавки й алюмінієва пудра або алюмінієвий порошок, що підвищують чутливість ВР, теплоту вибуху та об'ємну концентрацію енергії ВР.

Алюміній часто замінюють феросплавами, що містять кремній, феросиліцій (містить 20 – 80 % Si, 1 – 3 % Al, 0,2 – 0,4 % Cr, 0,2 – 0,6 % Mn) і силікокальцій (містить 10 – 30 % Ca, 1 – 2 % Al, 6 – 25 % Fe).

До складу водостійких ВР входять **гідрофобні добавки** (парафін, стеарат кальцію, асфальт), що виконують роль горючих компонентів.

При необхідності згущення розчинів АС у водомістких ВР застосовують поліакриламід, ізаргам, гуаргам, який отримують помолом бобів тропічної акації.

Структурутворювальні добавки використовують для створення поперечного зв'язку макромолекул загусника полімерів. Для цієї мети застосовують сульфат хрому, біхромат натрію, сірчаноокислий алюміній, буру, калієвий галун хрому та ін.

Порохи колоїдного типу (піроксилінові порохи) для підривних робіт використовують порівняно рідко. При заряджанні свердловин піроксиліновий порох змішують з насиченим розчином АС, що підвищує бризантність і енергію вибуху.

Конверсійними ВР прийнято називати ВР і засіб ініціювання (ЗІ), які використовували у військовій справі, а потім через закінчення строку зберігання стали застосовувати в гірництві для вибухів, дроблення або викиду.

Всі ВР (заряди в снарядах, авіабомбах, торпеди, ракети), а також артилерійські й ракетні порохи мають великий негативний КБ, підвищену чутливість (ВР з добавками гексогену, ТЕНу, сплавів алюмінію і магнію), сильну електризованість (пороху), тобто вони набагато небезпечніші при їх застосуванні в промислових вибухах.

Порохи і деякі ВР виділяють, крім традиційних газів СО, NO₂, отруйні хлористі гази. Це дозволяє використовувати ці ВР тільки на земній поверхні, при цьому вони екологічно будуть шкідливіше промислових.

Конверсійні ВР більш підходять (з організаційних чинників) для використання на тимчасових об'єктах – спорудження доріг, каналів, гребель, вибухів на викид і т. д.

Як засоби ініціювання можна використовувати тротилі й тротило-гексогенові шашки (ТГ) для проміжних детонаторів, а також більш високоякісні, ніж промислові, бойові ЕД з платіноіридієвими містками розжарювання, а також КД і вогнепровідні шпури.

У даний час накопичений досвід переробки та використання як водостійких ВР під назвою граніпорів артилерійських порохів, виплавки із снарядів тротилу, подальшого його гранулювання і використання замість гранулолиту під назвою конвертол.

Успішні результати отримані при використанні балістичних порохів для виготовлення подовжених кумулятивних зарядів для дроблення негабаритів, різання металоконструкцій при утилізації або руйнуванні об'ємних бетонних і залізобетонних споруд.

Розроблено технологію переробки зарядів твердого палива в гранули, придатних для виробництва синтетичних алмазів, порохових зарядів твердопаливних ракет – у гранули різних розмірів, придатних для заряджання обводнених свердловин.

Найбільш важливими властивостями промислових ВР (крім вибухових характеристик, експлуатаційних якостей ВР і їх стабільності) є гігроскопічність, злежуваність, хімічна стійкість, водостійкість, пластичність, текучість, здатність ущільнюватися, сипучість, старіння, леткість, ексудації та ін.

Гігроскопічність – здатність промислових ВР поглинати вологу з навколишньої атмосфери. Здатність до зволоження аміачно-селітряних ВР обумовлена високою гігроскопічністю основного якогось компонента, наприклад аміачної селітри, що призводить до ослаблення і повної втрати вибухових сумішей. Накопичена волога флегматизує ВР.

Злежуваність – здатність деяких порошкоподібних речовин втрачати при зберіганні сипучість і перетворюватися в міцну суцільну масу. Злежалі патрони ВР мають підвищену небезпеку. У такі патрони утруднено введення детонатора. Злежалі амоніти (особливо в патронах малого діаметра) мало сприйнятливі до первинних засобів ініціювання, відрізняються зниженою детонаційною здатністю.

Хімічна стійкість (стабільність) характеризує швидкість розкладання ВР при зберіганні. Якщо ВР має низьку стабільність, то в результаті зберігання великих її кількостей може статися самопришвидшений розпад і вибух. У цьому випадку продукти первинного розпаду каталізують подальшу реакцію, прискорюють таким чином процес розкладання.

Водостійкість – здатність ВР зберігати вибухові властивості при зануренні у воду. Для підвищення водостійкості ВР розроблено багато способів, один з яких характеризується введенням стеарата кальцію або цинку в порошкоподібні нітрогліцеринові ВР – детоніти, вугленіти й ін. Для зниження зволожуючої здатності рідких нітроефірів їх слабо желатинізують колоїдною бавовною.

Леткість – здатність деяких рідких компонентів ПВР випаровуватись. До таких компонентів належать нітрогліцерин, динітроетіленгліколь, нітрогліколь. Втрата ваги таких ВР призводить до вельми помітних змін їх вибухових властивостей.

Сипучість – здатність ВР легко транспортуватися по трубах і шлангах до місця заряджання, вільно висипатися, добре заповнювати простір свердловин. Сипучість іноді характеризують кутом природного укосу. Грануліти, зерногрануліти, гранулотол – промислові ВР, характеризуються доброю сипучістю.

Здатність ущільнюватися – якість ВР, що визначає щільність заряджання зарядної ємності. Здатність ущільнюватися зростає при наявності рідкої фази в складі ВР.

Старіння – необоротне погіршення вибухових властивостей ВР при зберіганні, що викликані фізико-хімічними змінами в речовині внаслідок внутрішніх процесів або взаємодії із зовнішнім середовищем. У зв'язку з процесами старіння для всіх ПВР встановлюється гарантійний термін зберігання, протягом якого гарантовано збереження основних показників технічних умов не нижче регламентованих норм.

Ексудація – процес виділення рідкої фази з твердої багатокomпонентної системи. Це явище спостерігається при старінні динамітів, у результаті якого на поверхні зарядів з'являються крапельки чистого нітрогліцерину, при цьому змінюються вибухові характеристики, зростає небезпека в поводженні з такими ВР.

До порушення фізичної стійкості ВР можуть призводити розшарування компонентів систем, рекристалізація компонентів та ін.

До ВР, що дозволені для ведення підричних робіт при підземному видобутку корисних копалин, крім шахт, небезпечних за вибухом пилу і газу, висуваються вимоги щодо використання їх у зв'язку з мінімальним утворенням отруйних газів (СО, СО₂, NO, NO₂, сірчистий газ) під час вибуху.

Злежалі та ті, що не піддаються розім'яттю руками, порошкоподібні ВР, які не містять гексогену або рідких нітроефірів, повинні подрібнюватися відповідно до вимог «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення», після чого вони можуть використовуватися тільки в шахтах (рудниках), безпечних за вибухом газу, або в тих, де розробляють пласти (рудні тіла), безпечні за вибухом пилу, а також при роботах на земній поверхні.

Злежалі порошкоподібні ВР, що містять гексоген або рідкі нітроефіри, повинні використовуватися без розминання або подрібнення тільки при підричних роботах на земній поверхні.

У вугільних і сланцевих шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу, при заряджанні забороняється розрізати оболонку патронів.

2.4.1. Аміачно-селітряні ВР і їх основні типи

У 1867 році в Швеції І. Олсон та І. Норбін запатентували використання аміачної селітри (АС) в складах ВР як основного компонента.

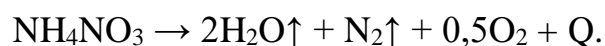
Аміачна селітра (азотнокислий амоній або нітрат амонію) – NH_4NO_3 – є безбарвна кристалічна речовина. Випускається у вигляді лусочок, гранул, кристалів. Легко розчиняється у воді. Щільність 1,56...1,74 г/см³; при температурі від –18°C до +32°C щільність складає 1,725 г/см³. АС містить 35 % азоту, 5 % водню, 60 % кисню. При вибуховому перетворенні 20 % кисню виділяється у вільному стані.

Залежно від температури аміачна селітра може існувати в різних модифікаціях. Фазові переходи в АС здійснюються при температурах: –16; +32; +85; +125°C. При температурі 169,1°C АС плавиться. Температура плавлення при вологості 2,5 % знижується до 140°C. При розкладанні одного граму селітри виділяється 0,2 г кисню, окиснюється водень, вуглець, алюміній. Через ці властивості АС використовують як компонент вибухових сумішей.

Насипна щільність АС 0,8...0,9 г/см³. Товщина шару, за яким стійко може поширюватися детонація, дорівнює 30 – 50 мм, а шару з пилу АС – 15 – 20 мм. Критичний діаметр відкритого заряду АС при щільності 0,8 г/см³ – 100 мм, а суха і тонкоподрібнена АС має критичний діаметр 10 мм, товарна (звичайна селітра) має критичний діаметр 200 – 250 мм.

Швидкість детонації АС залежно від умов 1,5 – 3,4 км/с. Ініціювання зарядів АС здійснюють проміжним детонатором. Теплота вибуху 335 – 375 ккал/кг. Залежно від матеріалу оболонки суттєво змінюється критичний діаметр АС: у паперовій оболонці 10 – 12 см, а в сталевій – 5 см.

При детонації АС в ідеальних умовах виділяється максимальна кількість теплоти (384 ккал/кг) і газоподібних продуктів (≈ 980 л/кг):



Розчинення АС у воді відбувається зі значним поглинанням тепла і зниженням температури замерзання розчину. При розчиненні 6 частин в 10 частинах води температура знижується на 17°C, а розчин, який містить 50 г АС на 100 г води, замерзає при –18°C. У зв'язку з цим у місцях зберігання АС та аміачно-

селітряних ВР слід систематично вести спостереження за температурою і вологістю повітря.

Відомі труднощі виникають при роботі із злежалою АС. Для зменшення злежування АС випускають у вигляді гранул або великих лусок. Водостійка аміачна селітра ЖВ, що містить гідрофобну суміш парафіну і залізних солей жирних кислот, має помітно меншу здатність злежуватись.

Гранульована або луската АС в мішку не детонує від вибуху 500 г тротилової шашки.

За умовами зберігання і транспортування аміачна селітра не належать до ВР.

Натрієва, калієва і кальцієва селітри мають високу щільність (більше 2 г/см^3) і в два рази більше містять кисню, ніж АС. Але ці селітри мають обмежене застосування, їх добавки підвищують щільність ВР, знижують температуру її замерзання, добре втримують воду в складі ВР. Суміші перерахованих селітр з горючими домішками більш чутливі до механічних впливів і займання. Після вибуху утворюють тверді оксиди і значно менше газоподібних продуктів, що суттєво знижує їх цінність як можливого компонента для промислових ВР. Використовуються в основному в водонаповнених ВР для підвищення щільності, пластичності, зниження температури замерзання (особливо кальцієва).

Амоніти – суміш аміачної селітри з тротилом і невибуховими горючими домішками, наприклад:

– амоніт скельний № 1 – до складу входять аміачна селітра (66 %), тротил (5 %), гексоген (24 %), алюміній (5 %); призначений для підривання міцних і особливо міцних гірських порід; швидкість детонації 4800–5300 м/с;

– амоніт № 1 сірчаний – складається із суміші АС (52 %), тротилу (11,5 %), хлориду амонію (30 %), нітроефірів (5 %), деревної муки (1,5 %); швидкість детонації 2500–3000 м/с;

– амоніт № 2 – складається з 2-х компонентів – АС (88 %) і тротилу (12 %);

– амоніт № 3 нафтовий – складається із суміші АС (52,5 %), тротилу (7 %), хлориду калію (30 %), нітроефірів (9 %), стеаратів (1,5 %); швидкість детонації 2800 – 3200 м/с;

– амоніт № 6 ЖВ – одна з найбільш поширених промислових ВР (селітра марки ЖВ із залізом); склад: АС (79 %), тротил (21 %); сприйнятливий до первинних засобів ініціювання – КД, ЕД; швидкість детонації в залежності від щільності 3600 – 4800 м/с.

Амоніти запобіжні для шахт і рудників випускають з домішками полум'ягасників – амоніт № 6 ЖВ, амоніт АП-5ЖВ, амоніт ПЖВ-20, амоніт Т-19 та ін.

Деякі різновиди амонітів.

Аматоли – суміші, що містять аміачну селітру (30 – 80 %) і тротил (70 – 20 %). Чутливість до удару вище, ніж у тротилу. Застосовувалися головним чином для спорядження боєприпасів. Найбільш поширеним був склад аматол 80/20 (швидкість детонації 4000 – 5300 м/с).

Амонали – патроновані суміші, які містять АС (66 – 80,5 %) і алюмінієву пудру (4,5 – 10 %), що підвищує теплоту вибуху і фугасну дію. Для поліпшення детонаційної здатності додають нітроз'єднання. Швидкість детонації залежно від процентного співвідношення компонентів і щільності ВР – 3800 – 6500 м/с. Суміші АС та алюмінію є найпростішими з амоналів.

Грамонали – гранульовані вибухові суміші, що являють собою затверділі суспензії аміачної селітри та алюмінієвого порошку в розплавленому тротилі. З середини 80-х років замінені економічно більш ефективними промисловими ВР.

Карбатоли – (марки Т-15, металізовані ГОЛ-10В та ін.) водомісткі гарячелітні промислові вибухові речовини, до складу яких входить карбамід. До первинних засобів ініціювання нечутливі, мало чутливі до механічних впливів. Загущені й структуровані карбатоли здатні зберігатися у воді кілька діб без зниження детонаційної здатності та потужності. Мають гарну текучість, кристалізуються при порівняно низькій температурі, що обумовлює їх застосування при низьких температурах.

До місця підричних робіт їх поставляють і заряджають у свердловини за допомогою змішувально-зарядної машини. Карбатоли забезпечують повне заповнення зарядного об'єму і концентрацію енергії в заряді в 1,5 – 2,0 рази більшу, ніж гранульовані вибухові речовини.

Застосовуються карбатоли для підричної відбійки свердловинними зарядами міцних і дуже міцних порід на відкритих розробках.

Динамони – найпростіші ВР, що складаються із суміші АС з горючими невибуховими речовинами: тонкодисперсні суміші АС з горючими речовинами типу деревної муки, подрібненого торфу та інших целюлозних матеріалів, а також алюмінієвої пудри і горючих рідин. До цієї групи належать описані далі ВР.

Ігданіти – найпростіші гранульовані ВР, що складаються з гранульованої АС і дизельного палива (ДП), тобто компонентів, кожен з яких не має вибухових

властивостей (термін «найпростіші ВР» вперше запропонований О.Ф. Беляєвим). Автори розробки (1958 р.) назвали цю ВР на честь Інституту гірничої справи ім. А.А. Скочинського – ІГС. Одночасно такі самі аналогічні суміші розроблені в США та інших країнах. Пориста й водостійка селітра (марки Р і ЖВГ) вбирають і стабільно утримують оптимальну кількість дизельного палива, що відповідає нульовому кисневому балансу суміші й максимальній теплоті вибуху. Непориста селітра (марки А і Б) має більш низьку здатність вологовбирання, при тривалому заряджанні ДП стікає в нижні шари свердловинного заряду.

Двокомпонентний ігданіт є найбільш економічною вибуховою речовиною. Оскільки він неводостійкий, то заряджання його роблять у попередньо осушені шпури і свердловини або поміщають заряд в поліетиленову оболонку. Застосовується в багатьох країнах світу.

Трикомпонентні ігданіти містять третій компонент – тверде пальне (у т. ч. металеві порошки), яке підвищує стабільність і енергетичні характеристики.

Ігданіти низькочутливі до первинних засобів ініціювання і до механічних впливів.

Ігданіти на непористій селітрі менш чутливі та детонують з відносно невисокою швидкістю, на пористій селітрі ці показники на 15 – 20 % вищі. Чутливість і детонаційна здатність ігданіта сильно залежить від розмірів пор, вологості гранул і щільності заряджання. Ігданіти, що не містять висококалорійного пального, є ВР середньої потужності, досить ефективними для підривання порід слабкої і середньої міцності. При міцних породах їх застосовують у комбінованих зарядах з більш потужними вибуховими речовинами.

Ігданіти дозволені до виробництва на місцях їх застосування. Їх виготовляють на стаціонарних змішувальних установках або з допомогою змішувально-зарядних машин безпосередньо в процесі заряджання свердловин і використовують у день виготовлення або протягом першої доби. У підземних виробках ігданіти заряджають у шпури, а підняттяві свердловини – пневмозарядниками.

Зарубіжні аналоги ігданіта: ніліти й алювіти (США); амекси, анфомети (Канада); амонекси та андекси (ФРГ).

Грануліти – вибухові сипучі суміші гранульованої аміачної селітри з мінеральними маслами, рідкими або термоплавкими нафтопродуктами і твердими дисперсними горючими речовинами (наприклад порошок алюмінію). Перші грануліти розроблені у СРСР в кінці 50-х років минулого століття. Рецептурний

склад гранулітів збалансований за киснем. Склад і характеристики деяких основних гранулітів наведені в табл. 2.6.

Грануліти малочутливі до механічних впливів. Недостатньо чутливі до первинних засобів ініціювання, вимагають проміжного детонатора. Грануліти марок АС-4В і АС-8В придатні для зневоднених шпурів і свердловин.

Гарантійний термін зберігання для споживачів – 6 місяців. Можливо виготовлення гранулітів також на гірничих підприємствах з допомогою змішувально-зарядної машини. Застосовують грануліти під час відкритих і підземних гірничих робіт.

Таблиця 2.6

Склад і вибухові характеристики гранулітів [16]

Склад	АС-8	АС-4	М	КС-1	Д-5	ШР-1
Селітра аміачна	89	91,8	94,5	90–93	92,0	92,0
Пудра алюмінієва	8	4,0				
ДП або масло індустріальне	3	4,2	5,5	3–4	2,5	3,5
Тирса						4,5
Порошок залізної руди				4–6		
Порошок вугілля					5,5	
Характеристики						
Швидкість детонації, км/с	3,0–3,6	2,6–3,5	2,5–3,8	3,5	3,5	3,3–3,4
Критичний діаметр, мм	80–100	100–120	120–140	150	150	80–90
Температура вибуху, °С	3200	3200	2300	3000	2800	1823
Фізична стабільність, діб	3	3	3	3	10	30

Аналогами гранулітів є закордонні суміші типу АН-ФО, що виготовлені на пористому нітрат амонію. Алюмінованим гранулітам аналогічні алювіти й алюмекси (США), анфомети (Канада), алюмон (ФРГ).

Водовмісні ВР виготовлені на основі аміачної селітри, пластифіковані водним желатином. Уперше запропоновані американським ученим М.А. Куком у 50-х рр. минулого століття.

Водовмісні вибухові речовини застосовують для робіт, що ведуть відкритим і підземним способами у сухих і обводнених міцних гірських породах, де необхідна висока концентрація енергії вибуху. Залежно від складу і в'язкості желатину розрізняють в'язкотекучі, в'язкі й високов'язкі пластичні водовмісні вибухові речовини.

В'язкотекучі водовмісні вибухові речовини виготовляють на місці застосування, пластичні й в'язкі водовмісні вибухові речовини (акваніти, акванали) – в заводських умовах; їх випускають у поліетиленовій упаковці у вигляді патронів різного діаметра (здебільшого 160 – 200 мм). Водовмісні вибухові речовини забезпечують високу щільність заряджання шпурів і свердловин, близьку до власної щільності, і високу об'ємну концентрацію енергії в зарядній камері.

До водовмісних вибухових речовин відносять акватол, акваніти, акванали, іфзаніти, карботоли, в США і Канаді – паурвекс, товекс, гідромекс, айрімайт, айрігел та ін.

Акваніти – ВР, пластифіковані водним гелем. Уперше запропоновані в 1963 р. Випускаються промисловістю в двох видах: пластичної маси, сформованої в патрони, шланги або поліетиленові мішки, та гранул (лусочок), що містять гелеутворюючий агент і пластифіковані водою шляхом зрошення в процесі пневмозаряджання. Для одержання рідких акванітів, придатних для заряджання самопливом або за допомогою нагнітальних насосів у низхідні свердловини, пластичні або пастоподібні акваніти заводського виготовлення розбавляються на місці проведення підривних робіт підігрітою водою в апаратах типу розчинозмішувачів, бетономішалок і т. п. при дотриманні необхідних правил безпеки.

Для забезпечення нульового кисневого балансу, підвищення щільності й фізичної стабілізації акванітів у них вводять нітрати лужних металів, для підвищення теплоти вибуху – алюмінієвий порошок, для підвищення здатності дроблення вибухом – гексоген (акваніт № 2). У патронах діаметром 32, 90 і 180 мм і шлангах діаметром 32 мм випускається акваніт № 16. Акваніти сприйнятливі до дії капсуль-детонаторів.

Використовуються для механізованого заряджання шпурів і свердловин і для вторинного дроблення в шахтах, безпечних за вибухом газу або пилу.

Акванали – містять загущений концентрований розчин аміачної селітри, лускатий тротил і порошкоподібний алюміній. Може містити калієву або натрієву селітру, сечовину. Відомі марки: акванал № 1, акванал М-15, акванал ПХМ-5 (патронований) та ін.

Акватоли – суміш гранульованої аміачної селітри і гранульованого тротилу з розчином селітр, згущуючих і стабілізуючих домішок. Суспензійна вибухова речовина у вигляді загущеного водорозчинними полімерами концентрованого розчину аміачної селітри, а також тротилу і кристалічної аміачної селітри, іноді алюмінію. Характеризується високою щільністю та об’ємною енергією (в 1,5 – 2 рази більше, ніж у насипних гранульованих вибухових речовин).

Для підвищення водостійкості в акватоли вводять структуроутворюючу добавку – солі хрому або інших металів. Випускаються у вигляді зневоднених сипучих сумішей. Сухі суміші наповнюють гарячою водою на стаціонарних установках або в самохідних змішувально-зарядних машинах. При переробці сухих сумішей акватоли необхідно дотримуватися правил техніки безпеки, як при поводженні з амонітами.

В обводнених стоячою водою свердловинах акватоли без втрати вибухових властивостей може перебувати до 30 діб, у свердловинах з проточною водою – 3 – 6 діб залежно від інтенсивності водообміну. Металізований акватоли не рекомендується застосовувати в свердловинах з кислими або лужними водами (рН нижче 5 і вище 8). Гелевидні акватоли поставляють у поліетиленовій упаковці у вигляді патронів, сухі акватоли – в паперових мішках у комплекті з шашками-детонаторами, іноді їх додатково упаковують у поліетиленові мішки. Гарантійний термін зберігання 12 місяців. Зарубіжні аналоги акватоли відомі під збірною назвою *slurry*.

У табл. 2.7 наведено склад деяких водомістких ВР.

Іфзаніти (від назви Інституту фізики Землі Академії Наук СРСР) – водовмісна промислова вибухова речовина, яка являє собою суспензії, що не розширюються, із суміші гранульованої селітри, тротилу та насиченого розчину АС, що заповнює міжгранульний простір у заряді ВР. Можливе додаткове структурювання згущувачем. До постійного застосування на відкритих гірничих роботах допущені іфзаніти Т-20; Т-60; Т-80. Число в назві ВР вказує температуру насиченого розчину АС.

Іфзаніти марок Т-20, Т-60 і Т-80 – металізовані. Іфзаніти всіх марок не чутливі до первинних засобів ініціювання. Мало чутливі до механічних впливів. Від проміжного детонатора детонують з високою швидкістю. Застосовуються при відкритій розробці корисних копалин для підривання порід різної міцності. Іфза-

ніти відносять до потужних вибухових речовин із підвищеною об'ємною концентрацією енергії і призначені для сухих і обводнених свердловин у міцних важкопідричних породах.

Для виготовлення іфзанітів на гірничих підприємствах використовуються механізовані комплекси.

Загущені й структуровані заряди ВР здатні зберігатися в непроточній воді кілька діб без істотного зниження детонаційної здатності та потужності.

Аналоги іфзаніта за кордоном – айрегели (США), гідромекси і нетрекси (Канада), реоліти і реомекси (Швеція), майданіти (Югославія), вазагелі й дінагелі (ФРГ).

Таблиця 2.7

Склад водомістких ВР, % [3]

Речовина	Акватоли				Акваніти	
	65/35с	М-15	65/35 АВ	МГ	3Л	№ 2
Аміачна селітра	63	58,5	51	26,5	25,5	44,2
Натрія нітрат				20	32	
Кальцію нітрат						7,4
Тротил	34	25	28		30	5
Алюмотол 25/75				40		
Алюміній (порошок)		15				
Гексоген						35
Згущувач	3	1,5	2	1,5	0,5	1,1
Масло вазелінове						0,8
Антифриз			5			
Вода			14	12	12	6,5

Емуліти (емульсійні ВР) – суміші холодного або гарячого насиченого розчину селітр (окиснювача) з рідкою невибуховою горючою домішкою та емульгатором, яка при обробці в диспергаторі перетворюється в водостійку рухливу ВР. При охолодженні гаряча емульсійна ВР твердне.

Суміш технологічних домішок, що складається з водного розчину диспергованого окиснювача в горючій вуглеводневій фазі, називають емульсією – основою (матрицею) для отримання емульсійних ВР.

Одним з найважливіших компонентів емульсійних ВР (ЕВР) є вода. Вона значно впливає на щільність емульсії, на якість емульгування та енергетичний потенціал системи в цілому.

Окиснювачем є пересичений водний розчин нітрату амонію з домішками нітрату натрію або кальцію, рідше – перхлоратів.

Як пальне використовують різні синтетичні масла, дизельне паливо, парафін, віск та ін.

Для підвищення вибухових властивостей іноді додають гексоген або солі азотної, хлорної кислот, нітрати метиламіни, етілендіаміна та ін. Для підвищення теплоти вибуху містять пудру алюмінію. Вміст води в емульсійних ВР може бути від 5 до 20 %. Кисневий баланс $KB \geq 0$.

Емульсія є складною багатокомпонентною фізико-хімічною системою, яку можна розглядати як базову структурну одиницю емульсійних ВР. Введенням різних хімічних речовин як домішок або зміною співвідношення компонентів, що входять до емульсії можна домогтися таких характеристик, які будуть відповідати тим чи іншим умовам застосування, технологічним параметрам, вимогам безпеки та охорони праці. Таким чином, технічні та вибухові характеристики емульсійних ВР, технологічна ефективність їх застосування і максимально можливе зниження ризику виникнення аварійних ситуацій при виготовленні, транспортуванні, заряджанні свердловин і в разі відмов мають пряму залежність від стабільності параметрів емульсії.

Емульсія як основа (матриця) для отримання емульсійних ВР являє собою суміш, що складається з водного розчину, диспергованого окиснювача в горючій вуглеводневій фазі та технологічних домішок. Як водний розчин окиснювача використовується розчин аміачної селітри або розчин суміші аміачної, кальцієвої і/або натрієвої селітри. Вуглеводнева фаза являє собою суміш мінерального масла з емульгатором. Як технологічні добавки емульсія містить парафін, церезин, петролатум, тіосечовину, кислоти: оцтову, адипінову, лимонну та ін.

Існує два типи емульсій: зворотна – «вода в маслі» (її називають ще емулітом) і пряма – «масло у воді». Стабілізують зворотні емульсії похідними оксазолінов, солями акрилумінов, сорбітану та ін. Стабільність прямої емульсії підтримується такими емульгаторами, як солі алкіламідів, алкіл, арилсульфати і т. п.

Основна технологічна задача отримання ЕВР полягає в досягненні якомога більш тонкого диспергування окиснювальної фази в середовищі вуглеводневого

палива і забезпеченні стійкості емульсії на час, необхідний для підготовки вибуху, або на термін гарантійного зберігання, наприклад, патронування виробів. Збільшення ступеня диспергування окиснювальної фази відповідно збільшує поверхню контакту окиснювача з паливом і, таким чином, забезпечує більш повну хімічну реакцію між цими компонентами і реалізацію потенційної енергії.

Основною особливістю при виробництві емульсійних ВР є формування в матриці емульсії «гарячих точок», які при ініціюванні є центрами детонації ЕВР. У розроблені емульсійні склади для забезпечення необхідної чутливості вводилися різні сенсibilізатори («гарячі точки») у вигляді порожніх скляних мікросфер, пористої аміачної селітри і т. д. Забезпечити сенсibilізацію ЕВР вдалося мікробульбашками азоту, що утворюються хімічним шляхом при реакції нітриту натрію з тіосечовиною в процесі охолодження емульсії. Тоді ж з'явилися перші найдешевші ЕВР – пореміти, які використовувалися при вибуховому дробленні гірських порід на кар'єрах. При створенні Україніту був запропонований новий спосіб сенсibilізації: введення такої газогенеруючої добавки як феросиліцій або кремній, а також їх суміші.

Матриця, сенсibilізована мікросферами, може зберігатися досить довго. Даний спосіб порівняно з іншими є більш стабільним, але й дорогим, головним чином, за рахунок вартості мікросфер зарубіжного виробництва (мікросфери вітчизняного виробництва дешевше, проте не відповідають жорстким вимогам, що висуваються до стабільності розміру). В цілому ж цей спосіб належить до застарілих і до тих, що не мають перспектив. Передові компанії «Orika», «Dino Nobel», «Nitro Nobel» та інші перейшли на сенсibilізатори з газогенеруючих добавок. По-перше, це дає можливість зменшити собівартість 1 тони ВР, а по-друге – виключає перевезення і розкрадання ВР, оскільки вона утворюється безпосередньо в свердловинах.

З метою активації ЕВР газогенеруючі добавки при перемішуванні з гарячим розчином селітри виділяють газ, який утворює безліч мікророзмірних бульбашок, однак така матриця з часом втрачає газ і десенсibilізується. Тому матрицю створюють у свердловині безпосередньо перед застосуванням. При проходженні ударної хвилі через таку своєрідну піну бульбашки адіабатично стискаються і в них підвищується температура, що і є параметром, від якого залежить ініціювання детонації в заряді ЕВР. Процес газогенерації є принципово небезпечним через імовірність масового схлопування бульбашок при тих чи інших позаштатних ситуаціях.

Процес десенсибілізації можна віднести до позитивних, оскільки в разі відмови через деякий час ЕВР втрачає свої вибухові властивості та не становить небезпеку при навантаженні породи і подальших роботах.

Емульсійні вибухові речовини не містять вихідних матеріалів, що класифікуються як ВР, і набувають вибухові властивості лише в кінцевій стадії приготування. Вони не чутливі до випадкового ініціювання від тертя, вогню або механічних впливів і безпечніші при виробництві, ніж інші промислові ВР. Крім того, ЕВР не містять у складі високотоксичних речовин.

Найбільшого поширення набули патроновані й наливні емульсійні ВР. Патроновані ЕВР чутливі до капсуль-детонатора. Ці патрони зазвичай виробляються на заводах і можуть зберігатися протягом досить тривалого часу (до 9 місяців). До пакувальних матеріалів відносять: вощений папір, пластикову або поліетиленову плівку та ін. Патрони ЕВР закладаються безпосередньо в шпур або свердловину та ініціюються від ЕД № 8.

Наливні емульсійні ВР в основному чутливі до КД. Зазвичай вони змішуються і завантажуються в свердловину за допомогою змішувально-зарядної машини або насосного пристрою, розміщеного на базі вантажного автомобіля. Способи змішування ЕВР з іншими речовинами і завантаження можна поділити так:

1 – транспортування сировини до місця підривних робіт з подальшим емульгуванням і змішуванням усіх матеріалів безпосередньо в вантажівці, а потім за її допомогою закачати змішані матеріали в свердловину; приклад – система Gelmas Tek і відповідна VL-серія емульсійних ВР виробництва канадської компанії СІЛ;

2 – доставка базових матеріалів, емульгованих на стаціонарному підприємстві, змішування їх з сенсібілізатором та іншими твердими матеріалами безпосередньо в вантажівці на місцях проведення підривних робіт; після цього ЕВР закачують у свердловину; приклад – насосна вантажівка EM182 і відповідні емульсійні ВР Tovex E виробництва компанії DPC США.

ЕВР, що поставляються в мішках, зазвичай виготовляють великих розмірів, а їх пакувальними матеріалами є поліетиленові або пластикові мішки, або трубки з крафтового паперу з пластикової плівки, вкриті тканиною. Більшість таких продуктів не чутливі до КД, для надійного ініціювання потрібно проміжний детонатор. Ці продукти можуть безпосередньо завантажувати або заливаються в свердловину.

Пореміти – емульсійні ВР, що виготовлюються на стаціонарних пунктах. Складаються з емульсії, газогенерувальної добавки і водного розчину нітрату натрію. До складу емульсії входить селітра аміачна, селітра натрієва, нафтопродукти і вода. У табл. 2.8 подано характеристики ЕВР виробництва ДержНДІ «Кристал».

Таблиця 2.8

Порівняльна характеристика штатних ЕВР і різних марок поремітів (М.І. Работинський та ін.)

Вибухова речовина	Марка ВР	Теплота вибуху, кДж/кг	Концентрація енергії, кДж/дм ³	Щільність зарядження, кг/м ³	Швидкість детонації, км/с	Газова шкідливість, л/кг
Ігданіт		3864	3444	900	2,2 – 2,7	45
Пореміт 1	ІМ-Н	2894	3616	1250	4,9 – 5,2	12,2
	ІМ-К	2911	3633	1250	4,9 – 5,2	12,4
	МТ-Н	2978	3717	1250	4,9 – 5,2	11,8
	МТ-К	3049	3814	1250	4,9 – 5,2	12,0
Пореміт 1А		3024	3780	1250	4,9 – 5,1	40
Пореміт М	4А	3654	4746	1300	4,8 – 5,1	42
	8А	4368	5880	1350	4,9 – 5,3	54
Пореміт МК	8К	3822	5166	1350	4,8 – 5,2	40
	8КА	3780	4914	1300	4,8 – 5,1	46
Гранеміт	30/70	3360	4536	1350	4,9 – 5,2	38
	50/50	3507	4914	1400	4,8 – 5,2	36
	70/30	3654	4746	1300	3,5 – 4,0	34

Друга група ЕВР підвищеної потужності призначена для підривання міцних і дуже міцних порід. До їх складу вводиться енергетична добавка – алюмінієвий порошок у кількості 4 – 8 % (пореміт М марок 4А і 8А) або гранульований алюмінієвий порошок, так званий алюмінієвий концентрат, у кількості 8 % (пореміт МК марок 8К і 8КА). Як емульсійна основа в першому випадку використовується пореміт 1, а в другому – пореміт 1 або пореміт 1А. Алюмінієвий порошок або концентрат вводиться у вибухову суміш або при отриманні емульсії, або в момент приготування вибухової суміші в зарядній машині на місці її застосування.

При виготовленні поремітів відбулася кілька завчасних вибухів, що зажадало істотного поліпшення техніки і технології виготовлення ЕВР, основою яких стало застосування спеціальних газогенеруючих добавок.

За потужністю алюмінізована ВР з урахуванням її високої щільності може значно переважати гранулотол за концентрацією енергії в заряді, тому вона придатна для підривання порід будь-якої міцності.

Гранеміти це сумішеві ВР на основі пореміта (емульсії) і гранульованої аміачної селітри або ігданіта. Гранеміт 30/70 (70 % емульсії) можна отримувати безпосередньо при виробництві емульсії і заряджати, наприклад, свердловини, використовуючи зарядні машини. Гранеміти 50/50 і 70/30 (відповідно 50 і 30 % емульсії) виготовляють у спеціальних зарядних машинах при заряджанні свердловин на місці підривних робіт.

При щільності заряджання 1300...1400 кг/м³ за потужністю дещо перевершують гранулотол, тому їх ефективно можна використовувати при підривних роботах замість гранулотолу. За швидкістю детонації гранеміти знаходяться на рівні гранулотолу (4,8...5,2 км/с), але мають порівняно з ними значно менший питомий об'єм шкідливих газових викидів. За винятком гранеміта 70/30 ці ЕВР мають гарну водостійкість і можуть зберігати свої вибухові властивості в обводнених умовах протягом місяця і більше, що дозволяє заряджати свердловини відразу після їх буріння.

Україніт ПП-1 – ЕВР підвищеної потужності (розробники – Національний гірничий університет, Український державний хіміко-технологічний університет і ТОВ «Екком»). Україніт ПП-1 створений як водостійка емульсійна ВР для дроблення міцних і дуже міцних порід методом свердловинних зарядів на кар'єрах. Утворення емульсійної вибухової речовини здійснюється на місці проведення вибухових робіт після змішування невибухових компонентів у змішувально-зарядній машині (ЗЗМ). Готовий Україніт з дозатора ЗЗМ насосом нагнітається в свердловину. Основні технічні характеристики і вибухові властивості Україніту, наведені в табл. 2.9, у тому числі в порівнянні з кращими світовими зразками ЕВР, такі:

- низька чутливість до механічних впливів; значно нижча чутливість до вибухового імпульсу (на думку авторів Україніту, це пов'язано з високим вмістом кальцієвої селітри);
- висока щільність;

- швидкість детонації в середньому на 500 м/с менше, а критичний діаметр детонації в кілька разів більше;
- для підривання свердловинних зарядів (діаметр до 320 мм) в трьох точках ініціювання потрібне встановлення проміжного детонатора, що складається з двох шашок Т-400 Г у кожній точці;

Таблиця 2.9

Деякі характеристики ЕВР українського виробництва

Показники	Україніт-ПП-1	Емульхім-ШМ-2	Анемікс (пауергель)
Швидкість детонації відкритого заряду, м/с	4300...4500	4800...5200	4800...5100
Теплота вибуху, кДж/кг	4100...4400	4300	3200
Троїловий еквівалент відповідно до теплоти вибуху	0,97...1,05	1,02	0,75
Обсяг газів вибуху, л/кг	720...750	1067	1007
Кількість шкідливих газів у перерахунку на СО, л/кг ВР	Не більше 21,5	24	76
Кисневий баланс, %	-0,05...-4,3	-0,6	-0,98...-1,95
Щільність, кг/м ³	1520...1550	1150...1350	1200...1370
Масова частка води, %	13...16	12...16,5	13...18
Критичний діаметр детонації, мм	120...150 в сталевій трубі	50 у паперовій оболонці	85
В'язкість емульсії, сПз	2500...3000	200...1500	18000...20000
Температура займання, °С	198	103	
Чутливість до КД	Не чутливі	Не чутливі	
Стабільність емульсії, місяців		6	
Чутливість до тертя, Н	325...360		1186 кгс/см ²
Водостійкість при витримці у воді 1 добу, кг/см ³	Не більше 0,02	Не більше 0,16	Не більше 0,1
Клас / підклас небезпеки	1 / 1.4	1 / 1,5	1 / 1,5
Група сумісності	D	D	D

- зарядка свердловин проводиться за допомогою ЗЗМ приготовленою ЕВР (така схема підготовки і заряджання знижують ступінь безпеки);
- висока стабільність при знаходженні до 5 діб в обводненому середовищі;
- пил сенсibilізатора надає фіброгенний вплив на організм людини – при роботі слід використовувати засоби індивідуального захисту зору та органів дихання; ГДК для сенсibilізатора – 4 мг/м³.

У даний час в Україні основний обсяг промислових ВР складають ЕВР, переважно «Україніт».

Емульхім-ШМ-2 – емульсійна ВР виробництва ДП «Хімічний завод «Південний», призначена для проведення підривних робіт на відкритих гірничих роботах при ручному заряджанні свердловин будь-якого ступеня обводнення (табл. 2.9).

Емульхім-ШМ-2 являє собою емульсію водного розчину аміачної і натрієвої селітри з добавками карбаміду в емульгаторі П-1 на основі нафтопродукту, при цьому емульгатор П-1 сенсibilізований скляними мікросферами. Бутилкаучук вводиться до складу ЕВР як сенсibilізатор.

Температура спалаху і займання емульгатора становлять 96 і 103 °С відповідно. Емульгатор належить до 4 класу небезпеки; за дією на організм людини подразнює слизисті оболонки носа та очей.

Технологічні вади застосування емульхіма головним чином обумовлені способом його упаковки, тобто загальновідомими дефектами, які характерні для ВР, що поставляються в патронах великого діаметра (120 – 210 мм), і відсутністю механізації заряджання свердловин.

Схема збудження детонації свердловинних зарядів – двочкова – вгорі та внизу свердловини, при цьому в кожній точці встановлюється по дві шашки Т-400Г. Рекомендується до застосування в породах середньої і високої міцності. Може використовуватися в умовах проведення масових вибухів у всіх кліматичних зонах.

Анемікс – основні вибухові й фізико-хімічні показники промислової ЕВР марок Анемікс-70 і Анемікс-80 українського виробника ЗАСП «Інтервибухпром» (відомо як пауергель Р70 і Р80 Австралійської компанії «Orica») наведені в табл. 2.9. Анемікс-70 і Анемікс-80 виготовляють за технологією компанії «Orica» і відрізняються вони масовою частиною емульсійної фази. У своєму складі анемікс містить гранульовану або пористу аміачну селітру, воду, розчин

газогенеруючих добавок і нафтопродукти. Для виготовлення емульсійної речовини необхідні компоненти, до яких у рамках прийнятої технології ставляться досить високі вимоги за хімічною чистотою.

Усі ці компоненти доставляються ЗЗМ у кар'єр до місця проведення вибухів. Анемікс набуває вибухових властивостей тільки після змішування компонентів у свердловині, а саме: через 20 – 25 хвилин після заряджання. Для ініціювання свердловинного заряду достатньо однієї шашки тротилу.

Анемікс (паургель) містить такі компоненти:

2-го класу небезпеки – тіосечовину $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$; наявність сірки не виключає утворення оксидів сірки (ПДК у повітрі робочої зони $0,3 \text{ мг/м}^3$); речовина пожежонебезпечна;

3-го класу небезпеки – емульгатори марок ON 66 S, ON 66 K, Librizol 2824 DR і П-1 (ГДК 5 мг/м^3), речовини пожежонебезпечні;

3-го класу небезпеки – оцтова кислота (ПДК парів 5 мг/м^3), речовина пожежонебезпечна;

4-го класу небезпеки – роданіт натрію (ПДК 50 мг/м^3); пожежо- та вибухонебезпечний; при нагріванні вище 307°C розкладається на ціанід натрію NaCN (отрута) і сульфід натрію Na_2S .

Концентрацію оксиду вуглецю в атмосфері та гірській масі, що підірвана, при використанні ЕВР анемікс можна порівняти, наприклад, з грамонітом 79/21.

При поводженні з компонентами анеміксу потрібне використання засобів індивідуального захисту. При поводженні безпосередньо з ЕВР і продуктами її вибуху треба вживати заходів необхідної безпеки.

Емоніти являють собою суміш емульсії (70 %), гранульованої аміачної селітри (30 %), газогенеруючого реагенту (1 % понад 100 %). ЕВР мають високу водостійкість. Рецептuru розроблена в ПАТ ППП «Кривбасвибухпром».

У даний час ринок України, на якому є такі емульсійні ВР, як Україніт ПП-1, емульхім ШМ-2, анемікс-70 і анемікс-80 та ін., насичений ЕВР до такої міри, що практично повністю виключає використання в промисловості тротилу та інших ВР, які містять токсичні й шкідливі компоненти. Сучасне цивілізоване суспільство вимагає дотримання умов безпечного виробництва вибухових речовин, без аварійного проведення вибухів, охорони праці та мінімального негативного впливу на навколишнє середовище.

ЕВР марки «ЕРА» – виробляються Державним підприємством НВО «Павлоградський хімічний завод». На рис. 2.1 подані деякі марки ЕВР «ЕРА».

Розроблена безпечна промислова технологія виробництва різних модифікацій нових наливних і незапобіжних патронованих ЕВР високої потужності, призначених для руйнування порід будь-якої міцності й обводненості. ЕВР мають низьку чутливість до зовнішніх впливів, відносно безпечні в поводженні, пристосовані до повної механізації всіх операцій з їх виготовлення і заряджання в свердловини.

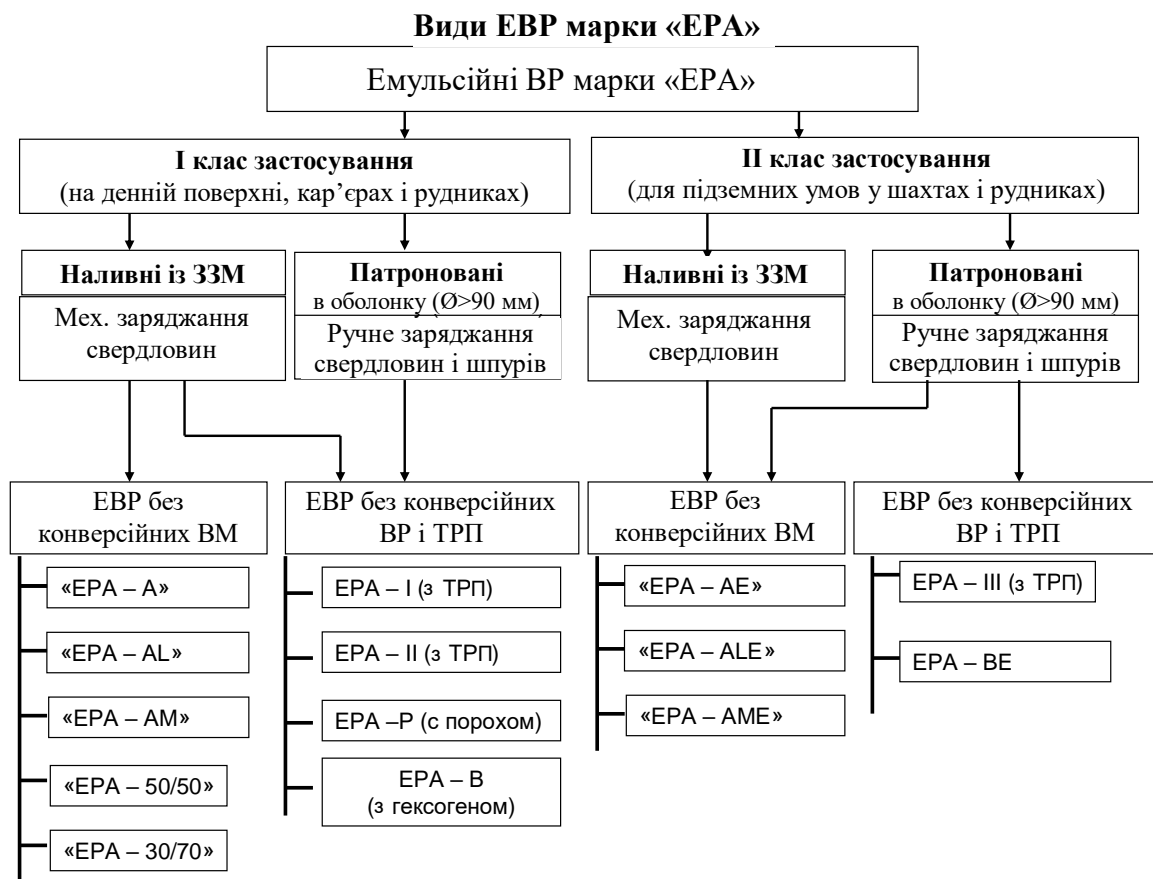


Рис. 2.1. Основні види емульсійних ВР марки «ЕРА»

У табл. 2.10 і 2.11 подані оптимальні рецептури емульсій для наливних і патронованих ВР. Типова мікроструктура емульсії показана на рис. 2.2.

Емульсійні ВР марки «ЕРА» мають переважні параметри за безпечністю використання. Такий параметр, як збереження фізико-хімічної стабільності ВР у свердловині показує, що для ЕВР він є обмеженим, але цілком достатнім для організації та виконання всього комплексу підривних робіт. При цьому в разі відмови в свердловині через 10 – 15 днів ЕВР втрачає властивість вибухати і, таким чином, не є небезпечною при механізованому розбиранні гірської маси.

Таблиця 2.10

Емульсія для наливних ЕВР

Найменування компонентів і основних показників	Вміст компонентів (%) і характеристика основних показників					
	1	2	3	4	5	6
Окиснювальна фаза, в т. ч.	92	92	92	92	92	92
– аміачна селітра	40	45	45	45	47	47
– вода	17	17	14	12	12	10
Горюча фаза	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Кисневий баланс	-1,69	-3,13	-1,66	-0,69	-1,26	-0,29
Теплота згоряння, кДж/кг	3151	3010	3320	3526	3467	3678

Таблиця 2.11

Емульсія для патронованих ЕВР

Найменування компонентів і основних показників	Вміст компонентів (%) і характеристика основних показників			
	1	2	3	4
Окислювальна фаза, в т. ч.	93	93	93	93
– аміачна селітра	68,0	70,6	71,1	72
– вода	11,0	9,0	8,0	7,0
Горюча фаза	7,0	7,0	7,0	7,0
Кисневий баланс	-0,8	-0,75	-4,2	-4,8
Теплота згоряння, кДж/кг	3104	3204	3100	3437

Стабільність структури та відповідні реологічні характеристики ЕВР марки «ЕРА» забезпечують суцільність колонки заряду в свердловині. Все це дозволяє повною мірою реалізувати енергетичний потенціал ЕВР марки «ЕРА» з витратою на підривання гірської маси від 0,6 до 1,0 кг/м³ (залежно від міцності порід) при досить низькому вмісті токсичних речовин у продуктах детонації (<1 %).

Собівартість підривних робіт у результаті впровадження нових технологій БПР з використанням змішувально-зарядних машин системи SMS і UMS знижується на 10 – 15 % порівняно з ручною зарядкою свердловин без застосування будь-яких засобів механізації.

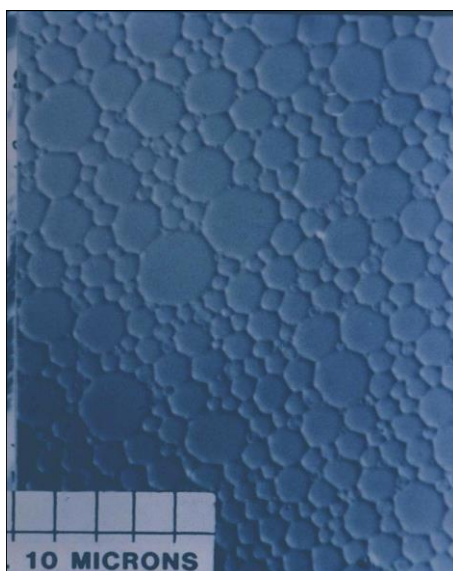


Рис. 2.2. Мікроструктура емульсії

Перспективи розвитку виробництва емульсійних вибухових речовин з новим комплексом характеристик фахівці пов'язують з розробкою прецизійних технологій, здатних ефективно управляти структурою і фізичними властивостями емульсійної матриці й добавок, що вводяться в рецептуру ЕВР.

Зарубіжні емульсійні ВР. Характеристики деяких ЕВР зарубіжного виробництва наведені в табл. 2.12.

Досвід США, Швеції, Росії, України та інших країн, накопичений у сфері створення, виробництва і застосування ЕВР, дозволяє сформулювати такі основні вимоги до промислових емульсійних ВР і особливостей їх застосування:

- компоненти ЕВР повинні бути безпечними при поводженні, транспортуванні, електричному розряді та механічних впливах, тобто не повинні належати до вибухових матеріалів;
- ЕВР повинні мати низьку чутливість до механічних і теплових впливів і підвищену водостійкість;
- не повинні містити дорогих і дефіцитних компонентів;
- мають бути досить потужними;
- мають бути стабільними й універсальними для сухих і обводнених свердловин;
- можливість використовувати механізоване зарядження свердловин;
- вибухові властивості повинні з'являтися у невибухових компонентів через нетривалий час, тобто тільки після змішування в свердловині;

**Характеристики зарубіжних емульсійних ВР
(М.І. Работинський та ін.)**

Країна (фірма)	Марка ВР	Кількість те- плоти, що ви- ділилась під час вибуху, кДж/кг	Концентра- ція енергії, кДж/дм ³	Щільність заряд- жання, кг/м ³	Швидкість детонації, км/с
США (Atlas)	Арех	2848	3562	1250	5,0 – 5,2
	Power AN	3318	4313	1300	4,8 – 5,3
(IRECO)	Iregel	2822	3385	1200	5,0 – 5,2
	Iremex	3150	4250	1350	4,9 – 5,3
(Du Pont)	Tovex E	2826	3570	1250	4,5 – 5,0
	Toven E	3360	4336	1350	4,0 – 5,0
Швеція	Emulit	2906	3486	1200	4,8 – 5,2
(Nitro-Nobel)	Emulan	3045	3956	1300	4,2 – 5,0
Канада (ETI)	Tovex	2805	3364	1200	5,0 – 5,5
	Tovan	3024	4082	1350	4,8 – 5,1
Германія (Westsprengr)	Emulgit	2856	3712	1300	4,9 – 5,4
Китай	BME	2877	3452	1200	4,0 – 5,0
Фінляндія (Kemira)	Kimit	3150	3780	1200	4,0 – 5,2
Японія (Nippon&Fast)	Chita-Mite	2940	3381	1150	5,0 – 5,5

- якщо в зруйнованій породі залишається частина ЕВР, що не вибухнула, то в ній повинні пройти деструктивні процеси, спрямовані на ліквідацію вибухових властивостей;

- має нести мінімальну екологічну шкоду (економічно він виражається в часі простою для провітрювання кар'єра після вибуху);

- найбільш економічне, технічно безпечне та найбільш ефективне використання ЕВР має бути зумовлено застосуванням сучасних, надійних і екологічно

чистих неелектричних систем ініціювання, а також адаптованих до будь-яких засобів збудження детонації.

Порошкові емульсійні ВР. Одним з виробників таких ЕВР є Китай. Емульсійні ВР отримують розпиленням компонентів, що забезпечує дрібнодисперсну структуру з хорошим контактом між палимим та окиснювачем у пресованих шашках. Порошкові ЕВР містять близько 3 – 5 % вологи і спеціального полімерного емульгатора.

Австроліти мають високов'язку структуру; здатні легко деформуватися при незначних навантаженнях і повністю заповнювати зарядні порожнини. До таких ВР належать динаміти та акваніти – потужні бризантні ВР, що складаються із суміші нітрату гідразину і перхлората гідразину. Деякі сорти австроліта складаються тільки з нітрату гідразину (G) або з перхлората гідразину (A-1-5). Основна сфера застосування – підводні вибухи.

Належать до сімейства рідких ВР. Вони були винайдені в 60-ті роки при розробці рідкого ракетного палива.

Австроліт А-1-5 – суміш 20 %-ного (за масою) алюмінієвого порошку з аміачною селітрою і 80 %-ного гідразину. Алюмінієвий порошок повинен бути подрібнений не більше, ніж 100 мкм. Ця ВР до недавнього часу вважалась однією з найпотужніших неядерних вибухових речовин у світі. Вона в 1,8 – 2 рази потужніша ТНТ. Крім того, австроліт А-1-5 безпечніше ТНТ і нітрогліцерина. Швидкість його детонації становить 9500 м/с.

Австроліт G – рідка ВР, що має дуже високу швидкість детонації – 8600 м/с (7700 м/с у нітрогліцерину і 6900 у ТНТ). Чудова особливість австроліта G – здатність легко адсорбуватися в землі й залишатися вибухонебезпечним. На польових випробуваннях австроліт G залишався вибухонебезпечним 4 дні, навіть коли ґрунт було промочено дощем.

Австроліт RX-23-AA – 79 % гідразиннітрата, 21 % гідразину. Швидкість зростання детонації 8560 м/с при щільності 1,42 г/см³.

Австроліт RX-23-AB – 70 % гідразиннітрата, 5,9 % гідразину, 24,1 % води. Швидкість детонації 7870 м/с при щільності 1,38 г/см³.

Австроліт RX-23-AC – 30 % гідразиннітрата, 70 % гідразину. Швидкість зростання детонації 7880 м/с при щільності 1,14 г/см³.

Бінарною вибуховою сумішшю, яку можна використовувати безпосередньо на місці проведення підривних робіт, є суміш, що містить 91,5 % твердої фази (90 % нітрат амонію, 10 % перхлорат амонію) з 8,5 % рідкої фази (гіразин –

43,48 %, вода – 25,22 %, метанол – 18,26 % і нітрат амонію – 13,04 %). Після просочення твердої фази рідкою суміш стає сприйнятливою до первинних засобів ініціювання.

Слід уникати потрапляння австроліта (гідразину) на шкіру. Якщо це сталося, то необхідно змивати великою кількістю води.

Перхлоратні ВР – вибухові суміші, у яких у ролі окиснювача використовуються солі хлорної кислоти (перхлорати калію, натрію, амонію). Завдяки великому вмісту кисню перхлоратні солі є більш ефективними окиснювачами, вони також утворюють відповідно вибухові суміші з більш високою потенційною енергією, ніж аміачно-селітрені ВР.

Більшість перхлоратів (крім перхлорату калію) розчинні у воді й органічних розчинниках. Найменш гігроскопічні – перхлорати калію та амонію. З перхлоратних солей найбільш виражені вибухові властивості має перхлорат амонію; зволожений до 10 % він втрачає здатність до вибуху. Головним недоліком перхлоратних ВР є їх висока чутливість до тертя й удару, тому вони дуже небезпечні у виробництві та використанні.

В Японії використовують кардити, а у Франції – севреніти. У складі перхлоратних ВР, призначених для застосування під землею, для запобігання утворення хлористого водню та елементарного хлору зазвичай вводять перхлорати калію або натрію.

Рідкі ВР за структурою і складом можна розділити на дві групи: суміші на основі рідких нітроалканів та солей гідразину.

До першої групи належить нітрометан, призначений для внутрішньопластового підривання (у нафтовидобувній промисловості).

У суміші загущеного нітрометану та аміачної селітри або в суміші з алюмінієвим порошком є водостійкі ВР (пластичні й щільні), що мають чутливість до механічних впливів, проте вона нижча, ніж у динамітів.

Ці ВР в Україні та в промисловості багатьох інших країн не застосовуються.

Граніпори – гранульовані промислові вибухові речовини, виготовлені на основі утилізованих піроксилінових та балістичних порохів. Зазвичай являють собою обмаслену механічну суміш піроксилінових зернистих порохів і відрізків трубчастих артилерійських порохів. Такі суміші мають гарну водостійкість і успішно замінюють гранулотол. Замість мінеральних масел іноді використовують

кремнеорганічні рідини. Для підвищення детонаційної здатності можуть міститися добавки гексогену. Деякі, що використовують як окиснювач, містять гранульовану аміачну селітру. Можливо спорядження в водонаповненому стані. Теплоота вибуху 3430...5680 кДж/кг. Швидкість детонації 3500...4100 м/с. Фугасність 270...380 см³. Щільність 0,8...0,95 г/см³. Критичний діаметр детонації 40...120 мм. Для підриву необхідний вторинний детонатор.

Промислові ВР на основі утилізованих порохів призначені для проведення підривних робіт на відкритих гірничих розробках. Використовують свердловини будь-якого ступеня обводненості, у тому числі свердловини з проточною водою. На основі утилізованих піроксилінових і балістичних порохів розроблені й допущені до промислового використання різні рецептури промислових ВР, основні з них такі: поротол, граніпори марок БП-1 і БП-3 (розробник ФЦЦТ «Союз»); діабазити (розробник НДПМ).

Поротол являє собою композицію із зерен утилізованого піроксилінового пороху і тротилу. Він водостійкий і призначений для спорядження сейсмічних зарядів, плоских комбінованих зарядів, що дроблять, (типу ЗДПК) та інших виробів для спеціальних вибухових робіт.

Граніпори являють собою суміш подрібнених піроксилінових і балістичних порохів у співвідношенні 1:1 з додаванням індустріального масла в кількості 1,5 %.

У складі діабазита міститься подрібнений балістичний порох або піроксиліновий порох (95 – 98 %), окис цинку або цинкового білила (2 – 5 %), а також індустріальне масло до 2 %.

2.4.2. Нітрогліцеринові ВР

З високопроцентних нітрогліцеринових ВР динаміт має незначне застосування – лише 62 %. Він складається із суміші нітрогліцерину – 37 % і нітрогліколю – 25 %, желатинованих колоїдною бавовною – 3,5 %, калійної або натрової селітри – 32 % та деревної муки – 2,5 %.

Туга пластична маса ВР патронується в паперові гільзи, щільність патронів 1,45 г/см³.

Динаміт водостійкий. Бризантність 16 мм. Чутливість до удару 28 см,

$T_{\text{замерз}} = -20^{\circ}\text{C}$ (небезпека при поводженні збільшується). Змерзлі динаміти перед використанням треба відігрівати при температурі не вище $+30^{\circ}\text{C}$.

При відігріванні, а також при зберіганні в умовах підвищеної температури можуть відбуватися ексудації – виділення з маси патрона рідких нітроефірів. Ексудуючий динаміт настільки ж небезпечний у поводженні, як і нітрогліцерин. Тому робота з таким динамітом і його збереження забороняються. Динаміт підлягає негайному знищенню.

Низьковідсоткові нітрогліцеринові ВР містять до 15 % нітроефірів. За умовами зберігання і транспортування вони прирівнюються до аміачно-селітряних ВР, але в поводженні вони небезпечніші, мають деяку токсичність.

2.4.2.1. Незапобіжні ВР II класу

Детоніт № 10А та детоніт М – порошкоподібні незапобіжні ВР, що містять до 10 % нітроефірів і до 10 % порошку алюмінію, 8 – 11 % тротилу і більше 70 % АС. Щільність 1,1...1,3 г/см³. Бризантність 17...18 мм. У воді заряди детоніту витримують кілька годин без зниження якості. Ці ВР рекомендується використовувати при заряджанні обводнених свердловин і шпурів у міцних породах.

Вибухові речовини цього класу дозволяється застосовувати:

1) під час проведення горизонтальних, похилих, підняттяєвих та вертикальних виробок, а також поглиблення шахтних стволів з діючих горизонтів шахт у разі дотримання таких умов:

– відсутності у вибоях вугільних пластів, пропластків, а також виділення метану;

– підтоплення водою вибою ствола, що поглиблюється, перед підриванням на висоту не менше ніж 20 см за найвищою точкою вибою;

– відставання від будь-якої точки вибою до вугільного пласта (у разі наближення до нього) не менше ніж 5 м за нормаллю. Після перетину пласта вибоєм виробки відстань від будь-якої точки вибою до пласта повинна бути більше ніж 20 м по довжині виробки;

– якщо виробка закріплена монолітним кріпленням, що унеможлиблює надходження до неї метану з пласта, ВР II класу можуть бути застосовані тільки після перетину вугільних пластів і пропластків;

2) у вибоях, що проводяться з поверхні шурфів або стволів шахт, небезпечних за газом та (або) пилом, у тому числі під час перетинання цими вибоями пластів, небезпечних через раптові викиди вугілля, породи й газу, у разі виконання таких умов:

– здійснення підтоплення водою вибою перед підриванням на висоту не менше ніж 20 см, зважаючи на найвищу точку вибою;

– здійснення підривання з поверхні за умови відсутності людей у стволі та на відстані не менше ніж 50 м від нього;

3) під час струсного підривання у виробках, що проводяться по викидонебезпечних породах, за умови застосування водорозпилювальних завіс, що створюються підривним розпиленням води з поліетиленових посудин разом з туманоутворювальними завісами. У цьому разі підривання зарядів повинно проводитися з поверхні або з камер-укриттів;

4) під час торпедування вугільного масиву на пластах, небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу;

5) під час застосування свердловинних зарядів для створення запобіжних надщитових подушок на дільницях, небезпечних за проривами глини та пульпи;

б) для попереднього розукріплення важкообрушуваних покрівель у механізованих очисних вибоях за узгодженням з територіальним органом Держгірпромнагляду України.

2.4.2.2. Запобіжні ВР III класу

Побідит ВП-4 містить до 10 % нітроєфірів, чутливий до детонаційних процесів. В обводнених забоях і в міцних породах більш ефективний, ніж амоніт АП-5ЖВ. Бризантність 14 мм, щільність 1,1...1,3 г/см³. Температура вибуху 2565°C. Застосовується в породних вибоях, небезпечних за вибухом метаном, але не небезпечних за вибухом пилю.

Амоніт сірчаний № 1ЖВ – порошок жовтого кольору, жирний на дотик, сенсibilізований нітроєфірами. Має низьку водостійкість, малу потужність та високу детонаційну здатність. Токсичний, вимагає підвищеної обережності в поводженні, чутливий до низьких температур. Містить 5 % нітроєфірів, 11,5 % тротилу, 52 % АС. Бризантність 11 мм, температура вибуху 1570°C. Щільність ВР у патронах 0,95...1,05 г/см³.

Амоніт нафтовий № 3ЖВ. За багатьма властивостями близький до амоніта сірчаного, але відрізняється від останнього високою водостійкістю. Складається з 9 % нітроефірів, 7 % тротилу, 52 % АС. Бризантність 12 мм, щільність 1,0...1,3 г/см³. Температура вибуху 1925°С.

Запобіжні ВР III класу дозволяється застосовувати:

– у вибоях виробок, що проводяться тільки по породі, у тому числі по викидонебезпечних породах, у разі виділення метану та відсутності вибухонебезпечного пилу;

– у вибоях стволів, що проводяться тільки по породі, під час їх поглиблення з діючих горизонтів і виділення в них метану;

– під час розкриття пластів, небезпечних через раптові викиди вугілля та газу, до оголення пласта за умови застосування водорозпилювальних завіс та наявності між пластом і вибоєм виробки породної пробки по всьому перерізу виробки. Розмір пробки (зважаючи на показник нормалі) повинен бути не менше ніж 2 м у разі розкриття крутих пластів і не менше ніж 1 м у разі розкриття пологих пластів.

2.4.2.3. Запобіжні ВР IV класу

Амоніт ПЖВ-20 та амоніт Т-19. Другий від першого відрізняється збільшеним на 3 % вмістом тротилу і кращою технологічною обробкою, за рахунок чого дещо збільшилися його вибухові характеристики. Основні компоненти: 64 % АС; 16 % тротил; 20 % хлористий натрій.

Працездатність амоніту ПЖВ-20 становить 265 – 280 см³; теплота вибуху 3400 кДж/кг. Швидкість детонації 3,5 – 4,0 км/с.

Випускаються у вигляді патронів; дрібнодисперсні порошки світло-жовтого кольору з помітними частинками полум'ягасників. Здатні детонувати при ущільненні до 1,7 г/см³.

Працездатність амоніту Т-19 становить 270 – 280 см³; теплота вибуху 3380 кДж/кг. Швидкість детонації 3,6 – 4,3 км/с. Основні компоненти: 61 % АС; 19 % тротилу; 20 % хлористого натрію.

Сфера й умови застосування: шпурові заряди в сухих і мокрих вугільних і змішаних вибоях, небезпечних за вибухами метану і пилу (крім вибоїв, віднесе-

них до особливо небезпечних), а також свердловинні заряди при розкритті вугільних пластів струсним підриванням.

Амоніти для підземних робіт випускають у вигляді порошку або пресовані й тільки патроновані (щільність патронування $1,0...1,15 \text{ г/см}^3$; діаметр патрону 32, 36 і 45 мм). Щільність пресованих амонітів $1,4...1,58 \text{ г/см}^3$. **Патрони пресовані розминати не можна.**

Гільзи патронів виготовляють з пергаментного паперу, парафінують. На гільзи патронів проставляють фабричне клеймо з позначенням найменування заводу, типу ВР і маси патрона. Маса патронів стандартного діаметра 100, 200, 250 і 300 г.

Колір гільзи (або клейма) відповідає класу ВР.

Гарантійний термін використання амонітів запобіжних – 6 міс. Незапобіжних – 12 міс.

Амоніти Г5, П5 являють собою порошкоподібні запобіжні водостійкі ВР IV класу. Дозволом Держгірпромнагляду України амоніти Г5, П5 допущені до застосування у вугільних шахтах, небезпечних за вибухом газу та пилу.

Амоніти Г5, П5 випускають згідно з ТУ У 3.14311844-112-2000 в патронах діаметром 36 – 37 мм, масою 300 г при щільності ВР в патроні $1,05...1,20 \text{ г/см}^3$ [4].

Призначені для підривання по вугіллю і породах будь-якої міцності при обводненні шпурів в умовах, де відповідно до «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» дозволено застосування ВР IV класу. Патрони заряджають вручну. Амоніти Г5, П5 можуть зберігатися і застосовуватися в усіх кліматичних районах.

Патронують у гільзи з паперу жовтого кольору. Кожен патрон маркується незмивною фарбою.

Запобіжні властивості: частота займання метаноповітряної суміші – не більше 50 % при вибуху заряду масою 300 г після 20 випробувань у канальній мортирі при прямому ініціюванні без забійки і відсутність займань пилоповітряної суміші при вибуху заряду масою 700 г у трьох дослідах в канальній мортирі.

Перед заряджанням шпур повинен бути ретельно очищений від бурової дрібниці й пилу. Заряд, що складається з двох патронів і більше, необхідно вводити в шпур одночасно.

Запобіжні ВР IV класу дозволяється застосовувати:

- у вугільних і змішаних вибоях виробок, що проводяться по вугільних пластах, небезпечних за вибухами пилю, у разі відсутності виділення метану в цих виробках;
- у вугільних і змішаних вибоях виробок, що проводяться по пластах, окрім підняттяєвих (10° та більше), де відсутнє підвищене виділення метану під час проведення підривних робіт;
- під час струсного підривання, у тому числі камуфлетного, розкриття вугільних пластів після їх оголення та наступного проведення виробок довжиною не менше ніж 20 м;
- у бутових штреках з нижньою підривкою порід;
- у бутових штреках з верхньою підривкою порід за відносної метановості виїмкової ділянки менше ніж $10 \text{ м}^3/\text{т}$;
- під час підривання по породі в змішаних вибоях виробок, що проводяться по пластах, небезпечних через раптові викиди вугілля та газу, у разі випереджувального породного вибою;
- для підривання бічних порід з $f > 4$ у змішаних вибоях виробок з підвищеним виділенням метану під час підривних робіт за умови, що попередня виїмка вугілля буде проводитися без застосування підривних робіт;
- під час вибухової виїмки вугілля у лавах.

2.4.2.4. Запобіжні ВР V класу

Вугленіт Е-6. Основні компоненти: нітроефіри – 14 %; натрієва селітра – 46 %; хлористий амоній – 30 %; хлористий натрій – 7 %; деревне борошно – 2,5 %. Теплота вибуху 2680 кДж/кг; швидкість детонації 2 км/с; працездатність 130 – 170 см³; низька водостійкість. Вільно підвішений заряд не викликає вибух метаноповітряної суміші.

Іонообмінні солі в зоні підвищених тисків і температур, які забезпечуються детонацією нітроефірів, вступають у реакцію обміну, яка супроводжується виділенням інертних газів і пилоподібної інертної солі:



Надлишковий кисень окиснює горючі елементи деревної муки.

Під час вибуху 1 кг вугленіту Е-6 утворюється 317 г хлориду натрію (калію).

Вугленіт № 5. Теплота вибуху 1300 кДж/кг; швидкість детонації 1,8 км/с; працездатність 50 см³. Склад основних компонентів: нітроефіри – 10 %, аміачна селітра – 14 %, хлористий натрій – 75 %, деревне борошно – 1 %.

Застосовується для перебивання стійок органного кріплення в лавах і для розпушування вугілля, яке застрягло у вуглеспусках.

Селектит гранульований. Склад: нітрогліцерин або його суміш з нітрогліколю – 10 %, нітрат амонію ЖВ – 66 %, хлорид натрію – 15 %, деревне борошно – 8,5 %. Фугасність 220 – 240 см³. Швидкість детонації 1800 – 2000 м/с.

Енергіт (розроблений на Донецькому казенному заводі хімічних виробів) – монозаряд шпуровий запобіжний, призначений для ведення підривних робіт у шахтах усіх категорій за газом. Задовольняє вимогам, що висуваються до ВР класу V. Заряди при заряджанні шпуру з'єднуються один з одним за допомогою замка. З урахуванням модифікацій можна здійснювати як особисте, так і групове зарядження шпуру.

Запобіжні ВР V класу дозволяється застосовувати:

– у вугільних і змішаних вибоях горизонтальних, похилих і підняттєвих (до 10°) виробок з підвищеним виділенням метану під час підривних робіт. У цьому разі в змішаних вибоях по вугіллю та по породі необхідно застосовувати однакові ВР. В окремих випадках за рішенням територіального органу Держгірпромнагляду України, виданим на підставі висновку експертизи з безпечного ведення робіт, допускається застосовувати ВР V класу по вугіллю, а IV класу – по породі;

– у вугільних і змішаних вибоях підняттєвих (10° і більше) виробок, де виділяється метан, під час проведення їх з попередньо пробуреними свердловинами, що забезпечують провітрювання виробок за рахунок загальношахтної депресії;

– у нішах лав, не віднесених до вибоїв з підвищеним виділенням метану;

– у бутових штреках, що проводяться з верхнім підриванням порід, за відносної метановості виїмкової ділянки 10 м³/т і більше;

– для верхнього та змішаного підривання бічних порід з $f=4$ і менше у змішаних вибоях виробок з підвищеним виділенням метану під час проведення підривних робіт за умови, що попередня виїмка вугілля буде проводитися без застосування підривних робіт.

2.4.2.5. Запобіжні ВР VI класу

Вугленіт 12ЦБ (крім патронів СП-12) як і вугленіт П-12ЦБ відносять до іонообмінних селективно-детонуючих ВР. Як сенсibilізатор містить нітроефіри (нітрогліцерин). Теплота вибуху 2300 кДж/кг; швидкість детонації – близько 2 км/с; працездатність 120 см³.

Вугленіт № 7 відрізняється від вугленіту № 6 твердою сенсibilізуючою добавкою – окису кремнію. Призначений для розбурювання печей у газових шахтах і перебиття кріпильних стійок. Працездатність 80 – 120 см³. Містить нітрогліцерин або його суміш з нітрогліколем – 10 %, нітрат натрію або калію – 57 %, хлорид натрію або калію – 30 %, деревне борошно – 2 %, діатоміт – 1 %. Швидкість детонації 1600 – 1800 м/с.

Вугленіт 10П – запобіжна промислова вибухова речовина VI класу – являє собою зволожену на вигляд порошкоподібну механічну вибухову суміш солей, що містить нітроефіри, вона випускається в вигляді патронів і призначена для виконання підривних робіт у шахтах, небезпечних за вибухом газу і пилу, та за умови наявності дозволу на застосування ВР VI класу. Випускається відповідно до ТУ 12.0174086-001, патрунується в гільзи з підпергаменту жовтого кольору або паперу для патрунування, або підпергаменту білого кольору з нанесенням жовтої відмінної смуги шириною не менше 15 мм (рис. 2.3). Діаметр патрона 36 мм, маса ВР в патроні 200 ± 10 г. Фізико-хімічні характеристики вугленіту 10П наведені в табл. 2.13.

За ступенем небезпеки при транспортуванні й зберіганні вугленіт 10П відповідно до ДСТУ 4500-5 належить до речовин вибухових I класу, підкласу I.I., групи сумісності D. Номер за списком ООН – UN 0081. Вугленіт 10П транспортується автомобільним, залізничним, морським і річковим транспортом відповідно до діючих правил на даний вид транспорту і «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення».

Запобіжні ВР VI класу дозволяється застосовувати:

- у верхніх нішах лав з підвищеним виділенням метану;
- у вугільних вибоях підняткових (10° і більше) виробок, у яких виділяється метан, у разі проведення їх без попередньо пробурених свердловин;



Рис. 2.3. Вугленіт 10П у патронах

Таблиця 2.13

Фізико-хімічні характеристики деяких марок вугленітів

Найменування показника	Норма для вугленіту		
	10П	13П	П52
Здатність до зайняття, П ₅₀ ,Г	1,2	1,2...1,4	–
Температура спалаху при постійній температурі з затримкою 1 хв, °С	240...250	210...230	210...250
Чутливість до удару за ДСТУ 4545:			
– нижня межа, мм	600	500	–
– частота вибуху, %	20...30	30...40	
Чутливість до тертя, кгс/см ³	2500	2400	2400
Газова шкідливість – кількість умовного окису вуглецю, л/кг	20...30	15...20	
Питомий об’ємний електричний опір при вологості 40 % і температурі 19 °С, Ом·см	1,1·10 ⁹	1,1·10 ⁹	1,1·10 ⁹
Мінімальна енергія займання, Дж	20	15	–

– у вибоях виробок, що проводяться по порушеному масиву (у тому числі у вибоях виробок, що проводяться у присічку до порушеного масиву), під час

виділення в них метану. У цьому разі глибина шпурів повинна бути не більше ніж 1,5 м, а маса шпурового заряду патронованої ВР – не більше ніж 0,6 кг;

– для верхнього та змішаного підривання порід з $f=4$ і менше у вентиляційних штреках, що проводяться услід за лавою.

Шпурові заряди в верхніх нішах лав і підняттяєвих виробках, особливо небезпечних за вибухом метану, виготовляються з вугленіту П-12ЦБ.

2.4.2.6. Запобіжні ВР VII класу

Іоніт – безпечна запобіжна ВР VII класу; швидкість детонації 1,8 км/с; теплота вибуху 1900 кДж/кг. У своєму складі містить компоненти такі самі, як і вугленіт.

Енергіт – накладний запобіжний заряд, призначений для руйнування негабаритів у шахтах будь-якої категорії за вибухом газу. Задовольняє вимогам, що висуваються до ВР класу VII. Виготовляють у полімерних оболонках.

Запобіжні ВР VII класу дозволяється застосовувати для таких видів спеціальних підривних робіт:

- для дроблення негабаритів накладними зарядами;
- для підривного перебивання дерев'яних стійок у разі осадки покрівлі.

Для кожного з перерахованих у цьому пункті видів робіт повинні застосовуватися ВР або заряди відповідно до вимог НПАОП 0.00-6.05-06.

У всіх вибоях виробок, крім тих, що проводяться струсним підриванням, а також під час виконання спеціальних підривних робіт дозволяється застосовувати запобіжні ВР і більш високого класу.

Забороняється на вугільних шахтах застосовувати ВР, що містять у своєму складі нітроефіри, з простроченим гарантійним терміном.

У вибоях виробок, де є газовиділення або вибухонебезпечний вугільний пил, дозволяється застосовувати тільки запобіжні ЕД миттєвої та короткоуповільненої дії.

Склад і властивості деяких іонообмінних промислових ВР для вугільних шахт, небезпечних за вибухом газу та пилу, наведені в табл. 2.14 і 2.15.

Основні характеристики деяких промислових вибухових речовин, які знайшли широке застосування у вугільних шахтах, наведені в підручнику [17].

**Властивості деяких іонообмінних запобіжних ВР для вугільних шахт,
небезпечних за вибухом газу та пилу (за Ю. Михайловим та ін.)**

ЗВР	Вибухові властивості			Запобіжні властивості		
	Праце- здатність ΔV , см ³	Швидкість детонації D, км/с	Передача детонації L, см*	Кана- льна мо- ртира m _{кр} , кг	Кутова мортира m _{кр} , кг	Стійкість проти виго- рвання
Вугленіт 13П	180	2,3 – 2,4	10/5	1,0	0,1	Стійкий
Вугленіт 13П/1	155	2,0 – 2,1	8/5	1,2	0,25	
Амоніт П5	260	3,9 – 4,1	7/5	0,3	0,025	
Вугленіт М	200	1,8 – 1,9	11/9	–	0,3**	
Вугленіт 12ЦБ	120	1,9	8/4	1,0	0,6	Нестійкий
Іоніт	110	1,6 – 1,7	5/1	>1,0	1,0	
Спеціальний метаніт VI	100	1,7 – 1,8	11/5	>1,0	0,5	
Мінурекс	180	–	10/5	1,0	–	Стійкий
Дайнаджекс	140	2,3	25/10	1,0	–	
Веттерсекьюрит С	100	1,5	3/–	2,2	2,0	
Шарбрит 4/50	95	1,6 – 1,65	3/–	2,2	2,0	

Примітка: * – передача детонації між сухими патронами в чисельнику та мокрими в знаменнику; ** – вільнопідвішений заряд у дослідному штреку.

У США частка використання запобіжних ВР становить 1 % від загального випуску, при цьому список допущених ВР такого класу до застосування у вугільній галузі налічує понад сто найменувань: гранульованих сумішей – близько 50, водомістких і емульсійних сумішей – більше 25, інші – нітроефіромісткі ВР. Запобіжні ВР, до складу яких входить тротил, не виробляються. У цілому асортимент запобіжних ВР США не типовий для застосування в умовах українських шахт, небезпечних за вибухом газу та пилу. З урахуванням прийнятої методики ідентифікації запобіжних ВР в Україні вибухові речовини США належать до III і IV класів.

**Склад деяких іонообмінних запобіжних ВР для вугільних шахт,
небезпечних за вибухом газу та пилу (за Ю. Михайловим та ін.)**

ЗВР	Країна	Хімічний склад у вазі, %			
		Нітро- ефіри	NaNO ₃ (KNO ₃)	NH ₄ Cl	Інші компоненти ЗВР
Вугленіт 13П	Україна	13,0	36,4	25,0	Карбонат кальцію – 5,0; На КМЦ – 2,0; нітрат амонію (ЖВ) – 15,0; полістирол – 2,5; стеарат кальцію – 0,8; колоїдна бавовна – 0,3
Вугленіт 13П/1	Україна	13,0	47,7	30,0	Карбонат кальцію – 5,0; На КМЦ – 2,0; полістирол – 1,5; стеарат кальцію – 0,5; колоїдна бавовна – 0,3
Амоніт П5	Україна	16 – 17 тротил	63 – 64 нітрат амонію	15,0 сіль	Поліфосфат натрію – 4,5; графіт – 0,5; деревне борошно – 2,5
Вугленіт М	Росія	11,0	41,1	13,0	Нітрат амонію (ЖВ) – 18,2; карбамід – 12,04; колоїдна бавовна – 0,2 – 0,4; На КМЦ – 2,0; деревне борошно – 2,5
Вугленіт 12ЦБ	СРСР	12,0	46,0	–	Карбамід – 23,0; колоксилін – 0,3; карбонат кальцію – 10,0; хлорид натрію – 6,0; На КМЦ – 3,0
Іоніт	СРСР	10,0	540,	33,7	Аеросил – 0,8; На КМЦ – 1,0; колоїдна бавовна – 0,2 – 0,3
Спеціальний метаніт VI	Польща	10,0	53,8	34,0	Тальк – 2,2
Мінурекс	Франція	20,0	34,0	22,0	Нітрат амонію – 17,0; сечовина – 7,0 (піна)
Дайнаджекс	Англія	16,0	15,1	7,0	Нітрат алюмінію – 27,0; нітроклітковина – 0,3; На КМЦ – 1,0; хлорид натрію – 5,6; формиат натрію – 25,0; кизельгур – 3,0
Веттерсек'юрит С	Німеччина	9,0	15,0 (35,3)	33,9	Стеарат кальцію – 0,05; деревне борошно – 1,45; карбонат кальцію – 5,0; каолін – 0,2
Шарбрит 4/50	Бельгія	9,5	55,25	28,0	Оксалат амонію – 5,0; кремнезем – 0,65; деревне борошно – 1,6

Примітка: На КМЦ – натрієва сіль карбоксиметилцелюлози

Є очевидною недосконалість і обмеженість існуючого асортименту запобіжних промислових ВР в Україні: уже понад півстоліття використовують п'ять порошкоподібних патронованих амонітів III і IV класів запобіжності, та декілька нітроєфірних ВР V – VII класів. Однак їх рівень запобіжних властивостей і стійкості проти вигорання не в повній мірі відповідають існуючим вимогам надкатегорних шахт.

2.5. Способи і засоби безполум'яного підривання

Усі способи безполум'яного підривання засновані на швидкому утворенні в сталевих патронах, розміщених у шпурах, газів під високим (10^8 Па і більше) тиском і миттєвому їх викиді в шпур. Вони застосовуються в найбільш небезпечних умовах вугільних шахт, де не дозволяється проведення вибухів навіть запобіжними ВР, для робіт по вугіллю, головним чином у лавах з машинною зарубкою, а також для підривання неміцних бічних порід.

Найбільш ефективними вважаються способи, наведені далі.

Кардокс – утворення газів відбувається в результаті швидкого випаровування рідкої вуглекислоти при її інтенсивному нагріванні.

Гідрокс – утворення газів відбувається в результаті хімічних реакцій порошкоподібних складів під дією нагрівання.

Аеродокс – при цьому способі в патрон, розміщений у шпурі, подається стиснене повітря під тиском $(3 - 8) \cdot 10^7$ Па.

Переваги способу безполум'яного підривання:

- повна безпека відбою вугілля на шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу;
- відсутність шкідливих газів;
- отримання великошматкового вугілля зі зменшенням пилоутворення в 3 – 4 рази;
- скорочення часу на провітрювання вибою при відбійці стисненим повітрям;
- безпека в поводженні з патронами;
- відсутність можливості передчасного вибуху;
- менша ймовірність пошкодження привибійного кріплення і відсутність потреби в складах ВМ;
- покращує гігієнічні умови праці;
- забезпечує видобуток вугілля більш високої якості.

2.6. Особливості детонації промислових ВР

Для потужних індивідуальних ВР, що мають високий ступінь суцільності, характерний гомогенний механізм збудження детонації (від грецького «*homogenes*» – однорідний). Залежність швидкості детонації від щільності індивідуальних ВР наведена на рис. 2.4.

Більшість ПВР – це суміші матеріалів, різнорідних за хімічними та фізичними властивостями. Як відомо, в ПВР можуть міститися і високоактивні індивідуальні ВР, що розкладаються в детонаційній хвилі з великою швидкістю, і менш активні речовини, але із сильно вираженими вибуховими властивостями типу тротилу, а також речовини зі слабо вираженими вибуховими властивостями – аміачна селітра, динітронафталін та ін., що розкладаються при детонації зі швидкістю на порядок меншою, ніж потужні БВР.

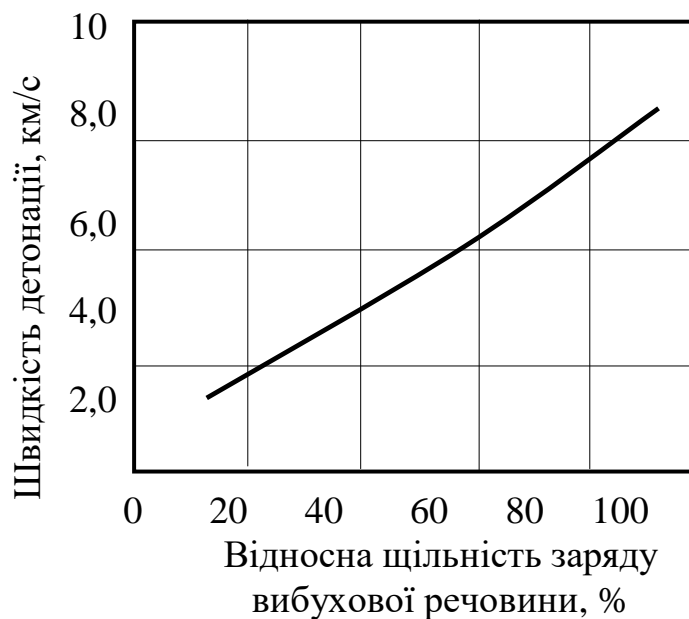


Рис. 2.4. Залежність швидкості детонації ТЕНу від щільності

До складу ПВР входять горючі матеріали, що не мають вибухові властивості (алюміній, деревне борошно, парафін та ін.), і цілковито інертні, які не беруть участі в хімічних реакціях під час вибуху і здатні зазнавати лише фазові перетворення, тобто такі речовини, як мінеральні солі (полум'ягасники), вода та ін. З точки зору компонентного складу, промислові ВР є також і кінетично неоднорідними системами.

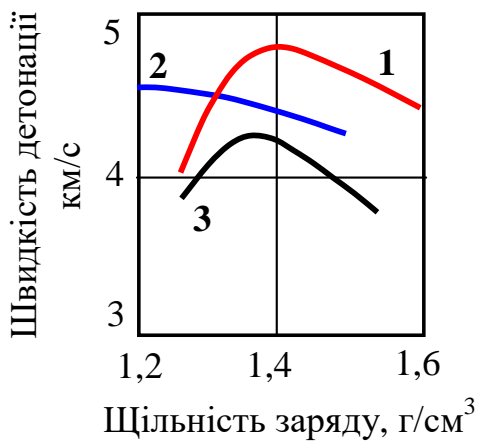
Основні особливості детонації промислових ВР. Головна особливість промислових ВР полягає в тому, що вони є фізично і хімічно неоднорідними системами. Цим пояснюються особливості їх детонації і деякі аномалії щодо положень класичної теорії детонації конденсованих ВР.

1. Хімічні реакції під час вибуху промислових сумішевих ВР відбуваються в кілька стадій. Типовою схемою розвитку хімічних реакцій є початкове розкладання або газифікація вихідних компонентів у детонаційній хвилі й подальша взаємодія продуктів розкладу між собою або з речовинами (алюміній, феросіліцій та ін.), які не зазнали на першій стадії хімічних або фазових перетворень. Критична щільність, точка максимуму на кривій $D=f(\rho_0)$ та інші характеристики, пов'язані з екстремальним видом залежності параметрів детонації від щільності, не є константами тієї чи іншої ЗВР, що визначаються його хімічним складом. Вони змінюються зі зміною фізичних характеристик ВР (розмір частинок, рівномірного розподілу компонентів і т. д.), поперечних розмірів зарядів, властивостей оболонки заряду.

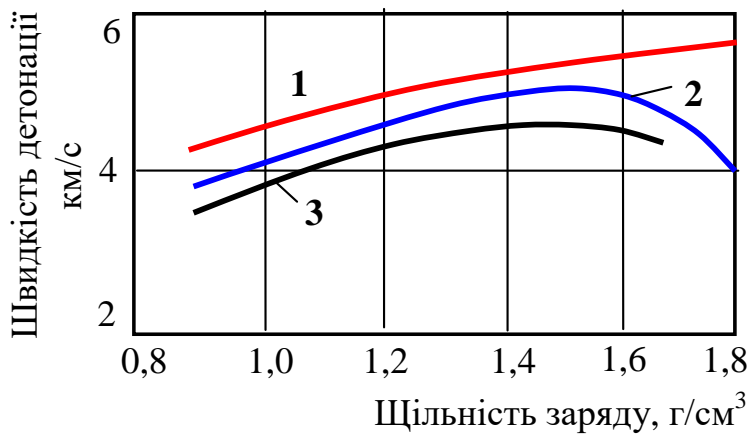
2. На детонаційну здатність ПВР може істотно впливати рівномірність змішування компонентів. Чим дрібніше частинки різнорідних компонентів і чим більш рівномірний їх розподіл в об'ємі, тим швидше завершується їх згоряння, змішування і взаємодія продуктів згоряння.

3. Для промислових ВР характерні такі явища, як розтягнутість зони хімічної реакції, великий інтервал між $d_{кр}$ і $d_{пр}$ (відношення цих величин може досягати 5 – 10). Наприклад, $d_{кр}$ тонкодисперсних амонітів у відкритих зарядах за робочої щільності становить 10 – 15 мм, а максимальна швидкість детонації спостерігається при заряді діаметром 80 – 100 мм. Гранульовані суміші стійко детонують в відкритих зарядах діаметром 40 – 150 мм і досягають максимальної швидкості детонації в зарядах діаметром понад 200 мм, сильна залежність цих характеристик від технології виготовлення; екстремальна залежність швидкості детонації порошкових ВР, ЕВР і бризантності деяких запобіжних ВР від щільності заряду при $d_z < d_{пр}$ (рис. 2.5 – 2.7).

4. Для багатьох ПВР спад швидкості детонації (рис. 2.5) або бризантності (рис. 2.7) після максимуму може бути досить різким, а, починаючи з деякої щільності, детонація в заряді даного діаметра взагалі стає нестійкою. У зв'язку з цим явищем для промислових ВР ввели поняття критичної щільності $\rho_{кр}$. Нормальний характер залежності $D=f(\rho_0)$ належать до області ідеальної детонації.



а

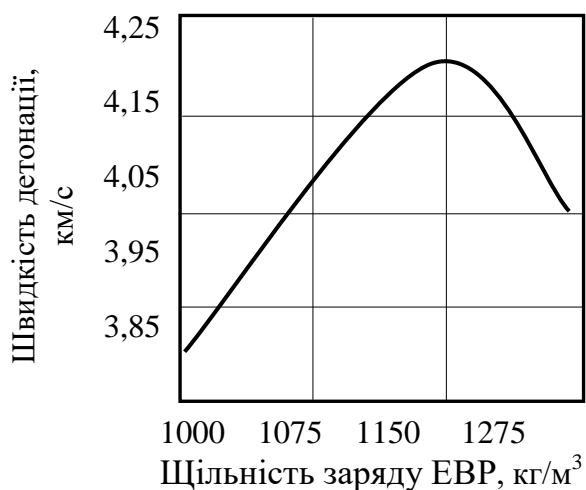


б

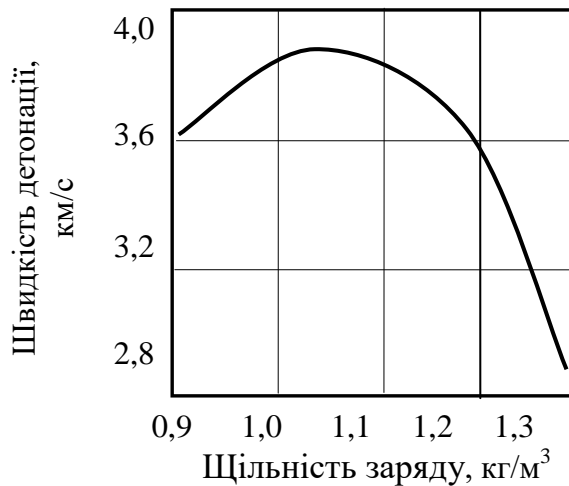
Рис. 2.5. Залежність швидкості детонації від щільності заряду ВР:

а – (1) побідит ВП-3, (2) амоніт ПЖВ-20, (3) побідит ВП-1;

б – в зарядах амоніта ПЖВ-20 різного діаметра, мм: (1) 100, (2) 40, (3) 20



а



б

Рис. 2.6. Залежність швидкості детонації від щільності заряду ВР:

а – ЕВР «ЕРА»; б – амонал 80/20 (80 % АС і 20 % АІ)

5. Встановлено вплив щільності ВР на мінімальний ініціюючий імпульс: при збільшенні щільності збільшується мінімальний ініціюючий імпульс (МІІ), рис. 2.8.

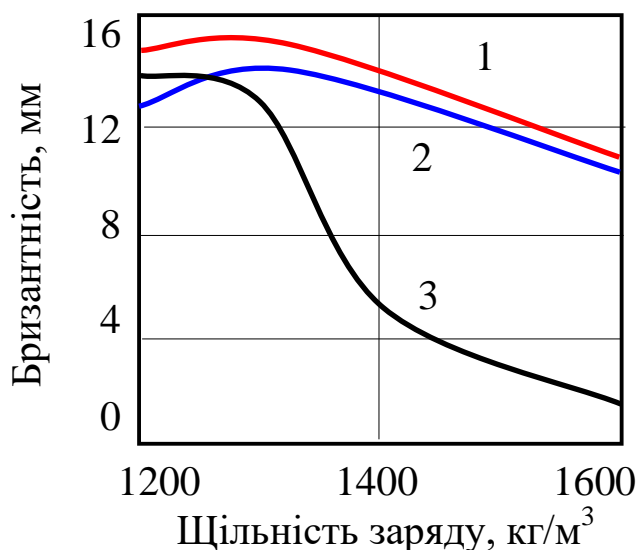


Рис. 2.7. Залежність бризантності від щільності ВР:
1 – побідит № 6; 2 – побідит ПУ-2; 3 – амоніт № 8

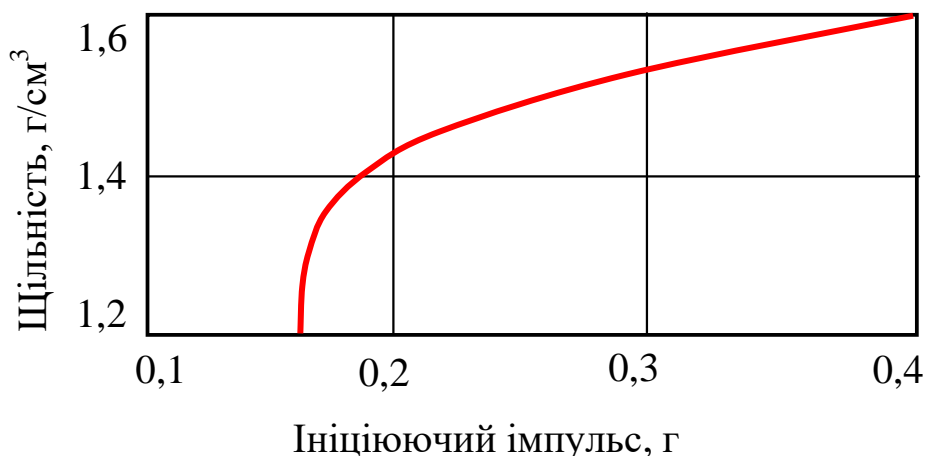


Рис. 2.8. Залежність мінімального ініціюючого імпульсу при вибуху гримучої ртуті від щільності заряджання побідиту ВП-3

6. Багатостадійність призводить до посилення (порівняно з індивідуальними порошковими ВР) залежності критичних умов поширення і параметрів детонації від розмірів частинок компонентів.

7. Значення $d_{кр}$ і $d_{гр}$ залежать не тільки від хімічного складу ВР, але й від щільності заряду, проте вони збільшуються із зростанням щільності ПВР.

2.6.1. Патроновані емульсійні ВР (дані О.Л. Кириченка)

В Україні під час проведення БПР в підземних умовах у великих обсягах використовуються ВР, що містять тротил і нітроефіри. Необхідність оптимізації рецептури ВР в цілому, в тому числі з метою зменшення або повного запобігання утворенню в продуктах детонації токсичних і отруйних газів, є особливо актуальною в обмеженому просторі підземних гірничих виробок.

Вода в складі ВР є флегматизатором, тому зі збільшенням її вмісту знижується поріг чутливості ВР до механічних і електростатичним впливів. З одного боку, такий ефект сприяє підвищенню рівня безпеки, а з іншого – відбувається збільшення кількості енергії, необхідної для збудження стійкої детонації в заряді такої ВР.

При проведенні випробувань рецептурний склад ЕВР був збалансований відповідно до кисневого балансу, який відповідав діапазону від'ємних значень від $-0,8$ до $-1,0$ %.

Оцінка чутливості ЕВР до детонаційного імпульсу проводилася за результатами, отриманими при ініціюванні зразків КД з навішуванням $0,3$ г РЕТН. Якщо випробувальні зразки ЕВР були нечутливими до КД з навішуванням $0,3$ г РЕТН, наступні дослідження проводилися з поступовим збільшенням ініціюючого імпульсу спочатку від КД з навішуванням $0,72$, $1,44$ і $2,8$ г РЕТН, а потім із застосуванням КД з навішуванням $0,72$ г РЕТН і додаткового детонатора (10 г гексогену).

За результатами проведених випробувань отримана залежність змін величини мінімально необхідного імпульсу для ініціювання ЕВР від вмісту води в його складі (рис. 2.9). ЕВР з вмістом води до $4,0$ % мають відносно низький поріг чутливості, вони сприйнятливі до ініціювання імпульсу з $E = 8,5$ Дж. Зі збільшенням вмісту води від $4,0$ до $8,2$ % поріг чутливості ЕВР знижується, при цьому випробовувані зразки ще сприйнятливі до ініціювання імпульсу з $E = 20,4$ Дж. Для зразків ЕВР з вмістом води в діапазоні $8,2...9,0$ % і $9,0...9,9$ % величина енергії зростає в два і чотири рази і становить $40,7$ і $80,4$ Дж відповідно. При збільшенні вмісту води до $10 - 11$ % величина енергії, необхідна для збудження детонації в заряді ЕВР, досягає $194,4$ Дж.

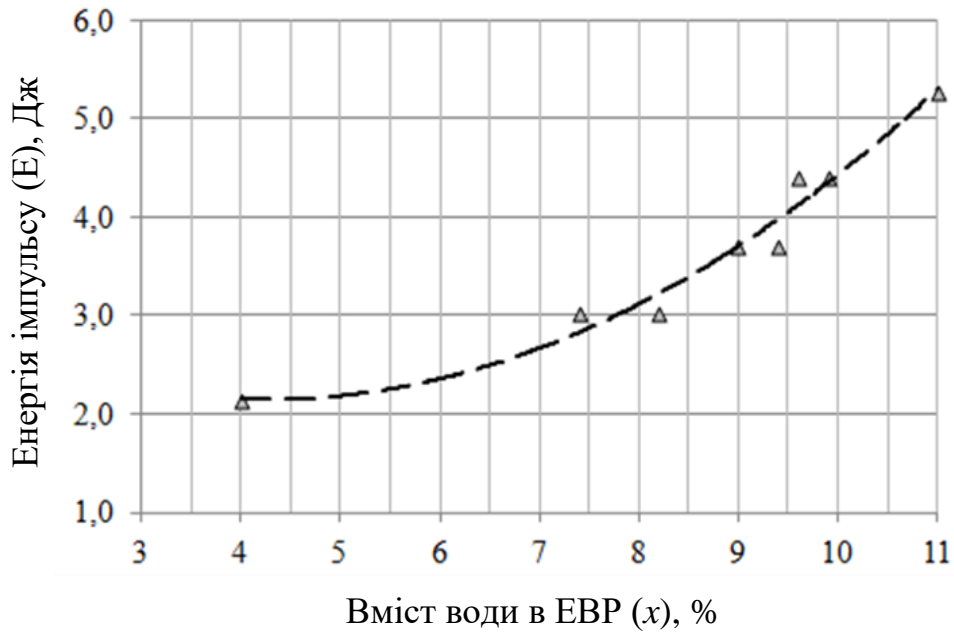


Рис. 2.9. Залежність зміни величини початкового ініціюючого імпульсу від вмісту води в складі ЕВР

Одним з показників вибухових характеристик, що визначають межу між стаціонарним і нестаціонарним режимом поширення детонації в заряді, є критичний діаметр детонації ВР. Для визначення величини критичного діаметра, при якому в заряді на заданій відстані забезпечується сталий розвиток самопідтримуючого процесу детонації, використовували метод із застосуванням зарядів телескопічної форми.

Випробовувалися ЕВР із щільністю від 1000 до 1300 кг/м³. Результати випробувань подані на рис. 2.10. Величина мінімального критичного діаметра, при якому ще можливий розвиток стійкої детонації, становить 23 мм. Зі збільшенням щільності ЕВР від 1000 до 1270 кг/м³ критичний діаметр детонації заряду збільшується на 10 %. При ініціюванні КД з навішуванням 0,72 г РЕТН зразків зі щільністю понад 1270 кг/м³ в заряді ЕВР спостерігається переривання детонації.

Результати випробувань апроксимуються таким рівнянням:

$$d_{KP} = (5,59 \cdot 10^{-8}) \rho_{евр}^2 - (1,175 \cdot 10^{-4}) \rho_{евр} + 0,0846, \quad (2.1)$$

де d_{KP} – критичний діаметр ЕВР, м; $\rho_{евр}$ – щільність ЕВР, кг/м³.

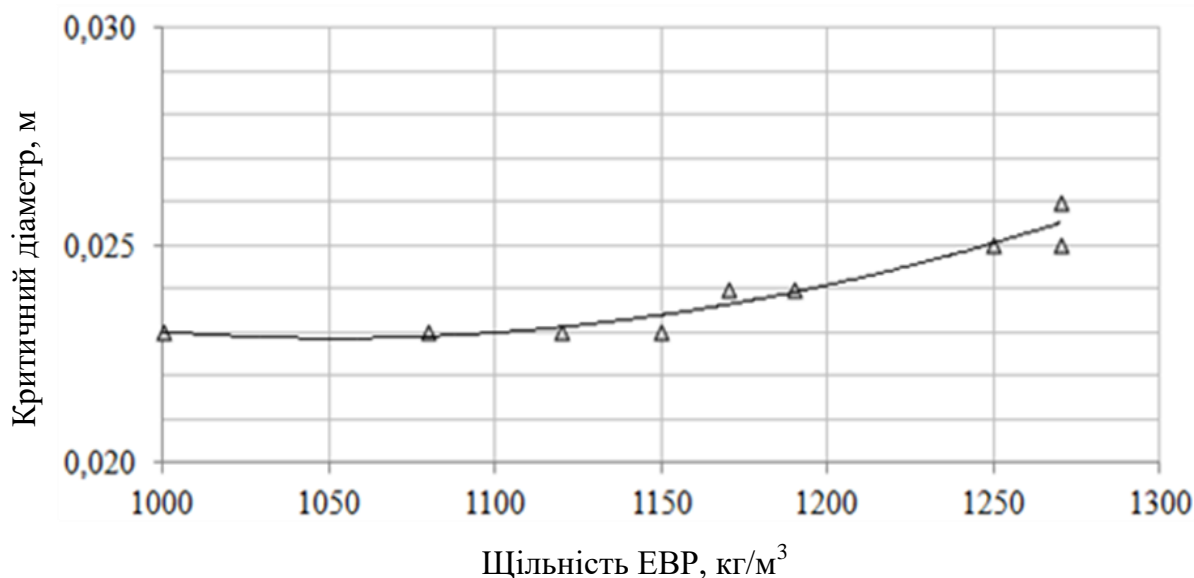


Рис. 2.10. Результати випробувань з визначення критичного діаметра детонації зразків ЕВР

Отримана величина критичного діаметра випробовуваних зразків ЕВР дозволяє зробити висновок, що при використанні зарядів діаметром 32 мм і більше в шпурах стандартного діаметра створюються необхідні умови для підтримки стаціонарного та сталого режимів детонації.

Для визначення «ефективного діапазону» щільності та величини граничного діаметра заряду ЕВР, тобто коли режим детонації сягатиме оптимальних значень, проводилися вимірювання швидкості детонації. При визначенні параметрів швидкості поширення детонаційної хвилі від щільності ЕВР вимірювання виконувалися на відкритих зарядах ЕВР діаметром 32 мм і щільністю 1000 – 1300 кг/м³. Залежність, яка наведена на рис. 2.11, показує, що максимум швидкості детонації зразків ЕВР відповідає вузькому діапазону щільності – 1120 – 1220 кг/м³. При щільності ЕВР менше 1120 кг/м³ або збільшенні її значень, що перевищують 1220 кг/м³, швидкість детонації знижується. При щільності більше 1270 кг/м³ ЕВР втрачає здатність стійко сприймати ініціюючий імпульс і детонувати від КД з навішуванням 0,72 г РЕТН, що ускладнює подальше визначення швидкості детонації у відкритому заряді діаметром 32 мм.

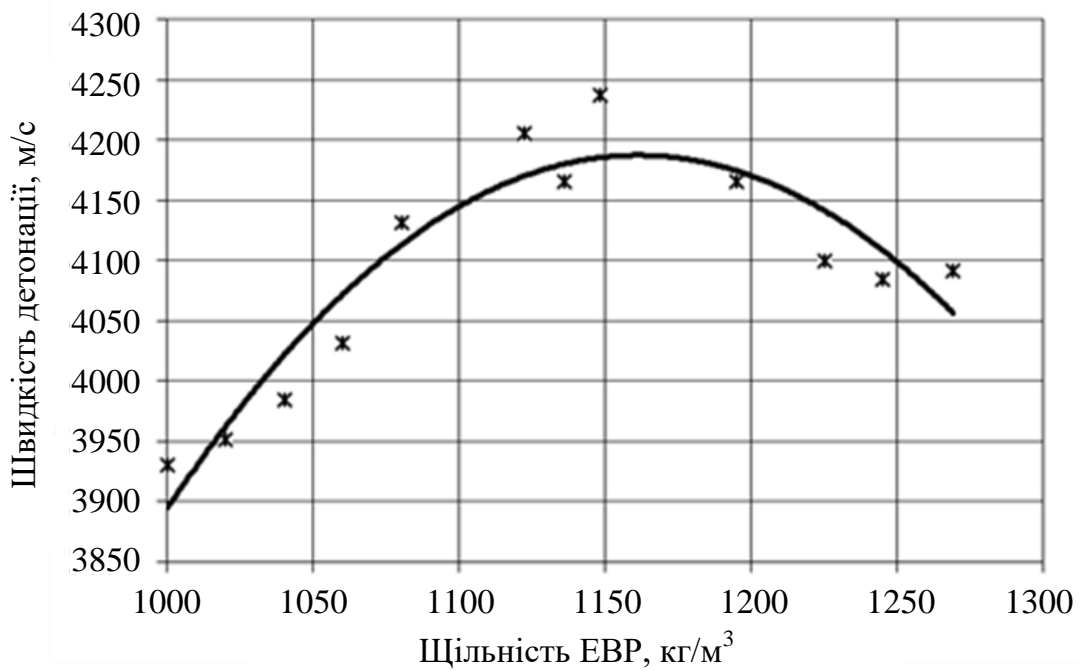


Рис. 2.11. Залежність швидкості детонації від щільності ЕВР

Залежність, подана на графіку (рис. 2.11), описується рівнянням:

$$D_{EBP} = -0,0113\rho_{EBP}^2 + 26,156\rho_{EBP} - 10998, \quad (2.2)$$

де D_{EBP} – швидкість детонації ЕВР, м/с; ρ_{EBP} – щільність ЕВР, кг/м³.

Для визначення залежності зміни швидкості детонації від діаметра заряду були випробувані зразки ЕВР щільністю 1120 – 1180 кг/м³ і діаметром 32, 40, 60, 70 і 90 мм. Результати випробувань щодо визначення граничного діаметра детонації наведені на рис. 2.12. Зрозуміло, що для досліджуваних зразків ЕВР при збільшенні діаметра заряду до 65 мм швидкість детонації підвищується. При подальшому збільшенні діаметра заряду швидкість детонації залишається незмінною.

Результати випробувань з визначення граничного діаметра детонації також можуть бути подані у вигляді:

$$D_{EBP}(d_{зар}) = 823590d_{зар}^3 - 315995d_{зар}^2 + 34610d_{зар} + 3377,6, \quad (2.3)$$

де $d_{зар}$ – діаметр заряду ЕВР, м.

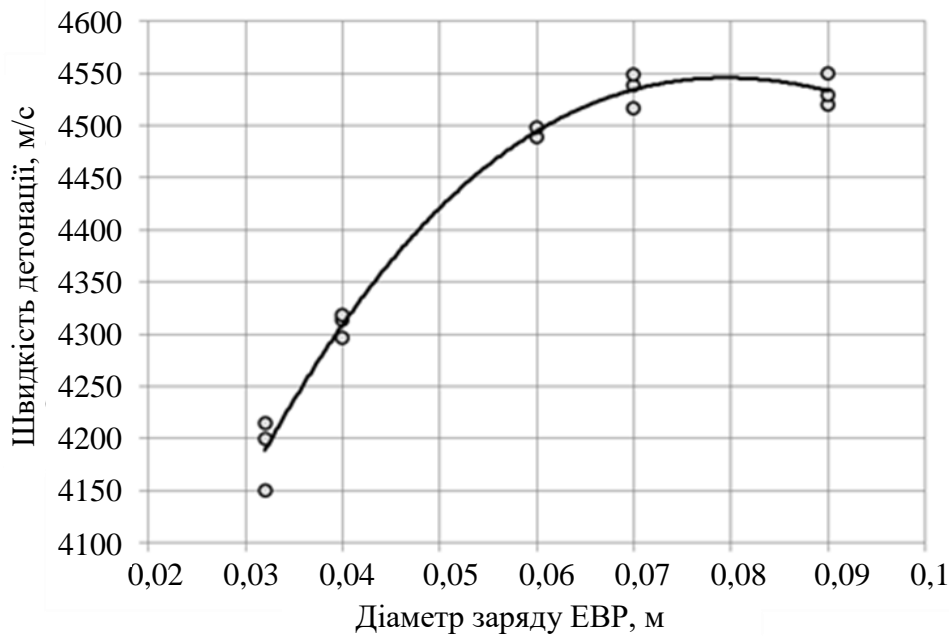


Рис. 2.12. Залежність зміни швидкості детонації від діаметра заряду ЕВР

Як показують численні дослідження однієї з причин неповноти детонації шпурових зарядів, які формуються патронованими ВР, є ущільнення заряду і порушення його суцільності з утворенням між патронами інертного середовища. Ущільнення ВР може призвести до збільшення критичного діаметра детонації і як наслідок цього – до зниження чутливості ВР до ударно-хвильового впливу.

Уявлення про ступінь впливу щільності ЕВР на критичний діаметр детонації заряду можна отримати з (2.1).

Для визначення здатності патронованих ЕВР до передачі детонації були проведені випробування зарядів діаметром 23, 32, 45, 70, 75 і 90 мм. Критичний діаметр детонації зразків ЕВР відповідає 23 мм. Результати випробувань наведені в табл. 2.16. Встановлена залежність дозволяє визначити відстань передачі детонації від величини відношення діаметра випробуваного заряду до критичного діаметра, нижче якого заряд не детонує.

Отримана за результатами випробувань регресія має вигляд:

$$r = 0,0716 \left(\frac{d_{зар}}{d_{кр}} \right) - 0,0756, \quad (2.4)$$

де r – відстань між зарядами, на яку поширюється і передається детонація, м;
 $d_{зар}$ – діаметр заряду, м.

Результати випробовувань патронованих ЕВР до передачі детонації

Відношення $d_{зар}/d_{КР}$, м	Відстань, на яку відбувається передача детонації, м		
	Зразки		
	№ 1	№ 2	№ 3
1,00	0	0	0
1,39	0,02	0,02	0,02
1,96	0,06	0,06	0,06
3,04	0,15	0,15	0,15
3,26	0,16	0,16	0,16
3,91	0,20	0,20	0,20

Підставляючи в рівняння (2.4) замість $d_{КР}$ вираз (2.1), отримаємо:

$$r = 0,0716 \left(\frac{d_{зар}}{5,59 \cdot 10^{-8} \rho_{ЕВР}^2 - 1,176 \cdot 10^{-4} \rho_{ЕВР} + 0,0847} \right) - 0,0756. \quad (2.5)$$

У результаті підстановки в (2.5) чисельних значень замість літер отримані відстані передачі детонації залежно від щільності заряду ЕВР діаметром 32 мм (рис. 2.13).

З поданої на рис. 2.13 залежності зрозуміло, що максимальна відстань передачі детонації досягається в діапазоні щільності ЕВР 1000 – 1100 кг/м³. При збільшенні щільності ЕВР з 1100 до 1270 кг/м³ здатність ЕВР до передачі детонації на максимальну відстань знижується в 1,7 рази.

2.7. Відповідальність персоналу за порушення порядку зберігання, обліку та використання вибухових матеріалів

Посадові особи і працівники, які винні в порушенні вимог нормативних документів про порядок зберігання, використання та облік ВМ, несуть відповідальність у дисциплінарному, адміністративному або кримінальному порядку.

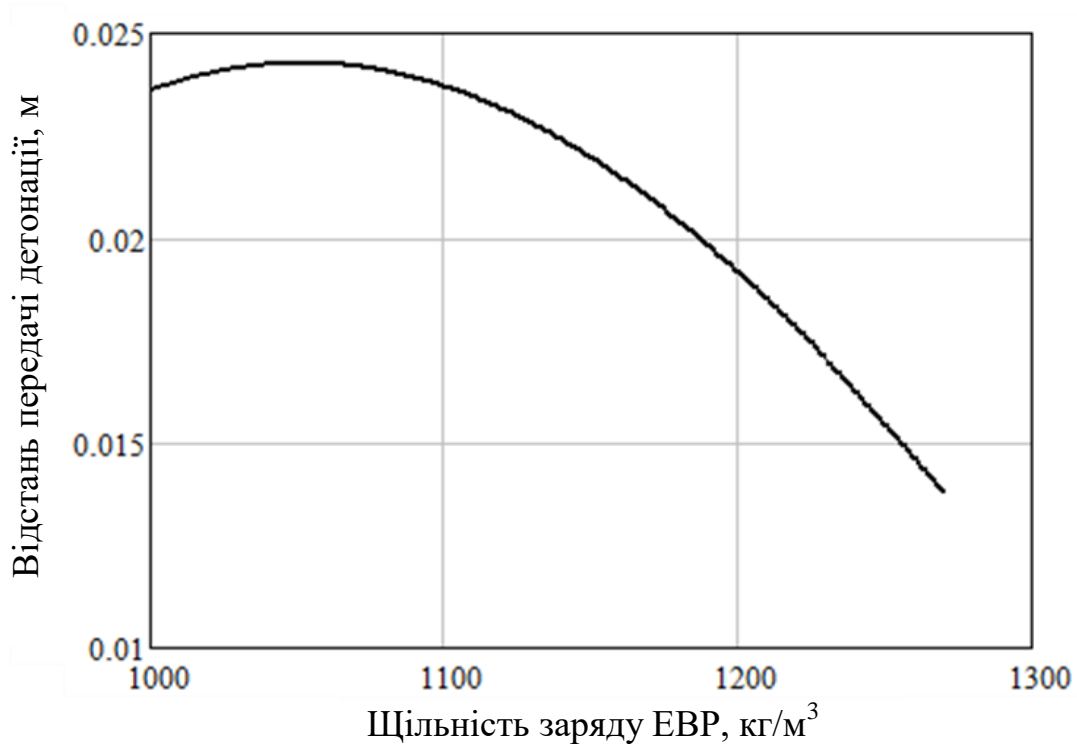


Рис. 2.13. Залежність відстані передачі детонації між зарядами від щільності ЕВР

2.7.1. Керівник і головний інженер шахти

Керівник і головний інженер шахти несуть відповідальність за:

- своєчасне оформлення дозволів на право проведення підривних робіт, придбання ВМ і їх перевезення;
- своєчасну подачу вищій організації заявок на отримання ВМ, забезпечення встановленого порядку допуску осіб для керівництва та виконання підривних робіт, а також зберігання ВМ і поводження з ними;
- забезпечення підприємств, будівництв, організацій необхідною кількістю складів ВМ певної місткості, що утримуються у належному стані згідно з відповідними нормативними документами, недопущення завантаження складів більше встановленої норми;
- забезпечення складів ВМ охороною відповідно до установлених правил, забезпечення щомісячної перевірки порядку обліку, зберігання і наявності ВМ на складах;
- забезпечення порядку та охорони при розвантаженні й транспортуванні ВМ на склади і до місця робіт;

- забезпечення правильної постановки обліку ВМ на складах; дозвіл застосовувати тільки ті ВМ, які допущені до використання в даних умовах роботи;
- негайне повідомлення вищої організації, безпосередньо контролюючої, і місцевому органу внутрішніх справ про випадки розкрадання і втрат ВМ;
- своєчасне притягнення до відповідальності порушників порядку зберігання, використання та обліку ВМ;
- безпечну організацію підривних робіт.

2.7.2. Керівник підривних робіт

Керівник підривних робіт несе відповідальність за:

- забезпечення точного дотримання підпорядкованим йому персоналом порядку зберігання, обліку, витрачання та транспортування ВМ;
- допуск до проведення підривних робіт, випробування ВМ тільки тих осіб, які мають на це право;
- забезпечення контролю за своєчасною звітністю майстрів-підривників про витрачені ВМ і здачу ними залишків на склад;
- організацію регулярного нагляду за станом складів ВМ, дільничних роздавальних пунктів, підземних роздавальних камер і за роботою обслуговуючого персоналу та охоронців;
- організацію проведення дослідних підривань для встановлення параметрів паспорта буропідривних робіт; регулярну перевірку правильності розроблених проектів і паспортів на виконання підривних робіт;
- забезпечення дотримання вимог правил та інструкцій і паспортів на виконання підривних робіт; внесення запису в книги обліку, видачі й повернення ВМ на витратному складі;
- організацію перепідготовки та інструктажу майстрів-підривників, лаборантів, роздавальників, постачальників, підношувачів ВР, помічників підривників з питань ведення підривних робіт, створення безпечних умов, правильного поводження з ВМ і використання їх за призначенням.

2.7.3. Начальник ділянки підричних робіт

Начальник ділянки підричних робіт несе відповідальність за:

- організацію проведення підричних робіт на шахті відповідно до діючих правил; своєчасну розробку проектів на підричні роботи; допуск до виконання підричних робіт тільки осіб, які мають на це відповідні права;
- ознайомлення із затвердженим проектом осіб нагляду ділянки й відповідних виробничих ділянок, а також майстрів-підричників; здійснення контролю за наявністю паспортів буропідричних робіт;
- визначення відповідно до паспортів буропідричних робіт норм витрати ВМ для окремих об'єктів та для всього підприємства, а також визначення потреби у ВМ у зв'язку з поданням заявок на планований період (квартал, рік);
- забезпечення дотримання правил зберігання, використання та обліку ВМ, а також їх знищення відповідно до вимог правил;
- забезпечення щомісячного прийому звітів у майстрів-підричників (підричників) про виконання завдань з проведення підричних робіт, а також про витрачання ВМ і повернення їх залишків на склад;
- здійснення заходів щодо попередження неповних детонацій, вигорання і відмов, організацію ліквідації зарядів, що не підірвалися, відповідно до вимог правил; ведення постійного обліку всіх випадків відмов і вигорань ВР і засобів ініціювання, а також спалахів і вибухів метану та вугільного пилу при підричних роботах;
- систематичне проведення інструктажу майстрів-підричників (підричників), лаборантів, роздавальників, постачальників, підношувачів ВМ з питань безпеки при підричних роботах, правильного поводження з ВМ і використання їх за призначенням;
- організацію забезпечення майстрів-підричників (підричників) справними вибуховими та контрольно-вимірювальними приладами, підричними магістралями, сумками або іншими місткостями для перенесення ВМ, газоаналізаторами, забійниками та іншими пристроями, необхідним для проведення підричних робіт;
- своєчасне виявлення несправних вибухових і контрольно-вимірювальних приладів і відправлення їх на ремонт.

2.7.4. Начальник дільниці, на якій ведуться підривні роботи

Начальник дільниці, на якій ведуться підривні роботи, несе відповідальність за:

- своєчасне проведення дослідних підривань для встановлення необхідних показників при складанні паспорта БПР для кожного вибою (об'єкта), ознайомлення з паспортом БПР (проектом) осіб нагляду дільниці, гірничих майстрів (майстрів), начальників змін і робочих відповідної кваліфікації; контроль за суворим дотриманням правил, що містяться у паспорті БПР (проекті);
- точне дотримання персоналом дільниці порядку зберігання, обліку, використання та транспортування ВМ;
- допуск до проведення підривних робіт і обслуговування зарядних машин тільки осіб, які мають на це право;
- своєчасну звітність підлеглих йому майстрів-підривників (підривників) про витрачання ВМ і здачу ними залишків на склад ВМ; забезпечення правильності підтвердження даних про витрати ВМ особами технічного нагляду (гірничими майстрами);
- залучення як постачальника ВР зі складу ВМ до місць роботи тільки стажистів-підривників або проінструктованих робітників;
- підготовку, обладнання та утримання в справності контейнерів (сейфів, ящиків) для зберігання ВМ на дільницях (поблизу місця виконання підривних робіт); своєчасне переставляння контейнерів (сейфів, ящиків) і їх ремонт;
- забезпечення місць зберігання ВМ протипожежними засобами і телефонним зв'язком з комутатором підприємства; охорону ВМ на дільниці.

2.7.5. Гірничий майстер, майстер, начальник зміни дільниці, де проводяться підривні роботи

Гірничий майстер, майстер, начальник зміни дільниці, де проводяться підривні роботи, несуть відповідальність за:

- підготовку вибою (об'єкта) до проведення підривних робіт відповідно до вимог Правил безпеки у вугільних і сланцевих шахтах або інших відомчих правил безпеки і видачу письмового дозволу (наряд-путівки) на підривання;
- допуск на пости охорони місця проведення підривних робіт робітників, які пройшли відповідний інструктаж; розстановку постів охорони і виставляння

огороджувальних знаків до початку підривних робіт; огляд місця проведення підривних робіт після підривання і провітрювання;

- керівництво своєчасною та безпечною ліквідацією зарядів (відмов), що не підірвалися; допуск робітників у вибій після підривання і провітрювання;
- забезпечення контролю над використанням ВМ тільки за призначенням;
- підтвердження правильності відомостей у наряд-путівці про фактичні витрати ВМ;
- виконання буропідривних робіт за проектом або за паспортом.

2.7.6. Майстер-підривник (підривник)

Майстер-підривник (підривник) несе відповідальність за:

- забезпечення постійного нагляду за отриманими ним ВМ, недопущення передачі їх іншим особам (крім випадків, обумовлених правилами), втрати, розкидання або залишення в підземних виробках або на поверхні, а також самовільного знищення;
- використання отриманих ВМ тільки за призначенням;
- проведення підривань відповідно до правил, зазначених у паспорті БПР (проекті) на підривні роботи;
- проведення підривних робіт тільки при наявності постів охорони та дотриманні всіх інших вимог правил безпеки;
- своєчасну здачу на склад або дільничний пункт зберігання залишку невикористаних ВМ, правильний облік витрат їх у наряд-путівці;
- огляд вибоїв після підривання, своєчасне повідомлення працівника змінного нагляду або керівника підривних робіт про заряди, що не підірвалися, і занесення даних до «Журналу запису відмов при підривних роботах і часу їх ліквідації», а також за своєчасну ліквідацію зарядів, що не підірвалися;
- встановлення відповідних знаків, що попереджають про небезпеку підходу сторонніх осіб до вибухових зарядів, і негайне повідомлення осіб технагляду про їх кількість і місцезнаходження у разі неможливості ліквідації цих зарядів;
- суворе дотримання правил транспортування ВМ від складу ВМ до місця роботи і назад;
- перевірку на шахтах, небезпечних за вибухом пилу, якості зрошення виробок або зв'язування осілого пилу;

- виконання підривних робіт у виробках шахт, небезпечних за вибухом газу, тільки при допустимих концентраціях вибухонебезпечних газів;
- перевірку підготовленості вибою до проведення підривних робіт; розстановку постів охорони і виставляння огорожувальних знаків до початку підривних робіт (в окремих випадках, обумовлених правилами);
- огляд місць після підривання і провітрювання; подачу відповідних сигналів про закінчення підривних робіт і дозвіл на допуск спільно з працівником змінного технічного нагляду робітників до місця підривання для подальших робіт;
- здійснення контролю за правильністю виконаних бурових робіт відповідно до проекту або паспорту БПР;
- вимірювання газоаналізатором вмісту метану на шахтах, небезпечних за вибухом газу, безпосередньо перед заряджанням і підриванням; вимірювання вмісту метану перед підриванням у місцях знаходження підривного пристрою; виконання заходів щодо попередження вибухів газу і пилу.

2.8. Класифікація вибухових матеріалів за групами сумісності (НПАОП 0.00-1.66-13)

Група сумісності (небезпеки)	Назва речовини, виробу
1	2
А	Первинна ВР
В	Виріб, що містить первинну ВР і не має двох або більше ефективних запобіжних пристроїв. До цієї категорії також належать такі вироби, як капсуль-детонатори, ЕД, збірки детонаторів і капсулів, навіть якщо вони не містять первинну ВР
С	Метальна ВР або інша, здатна до дефлаграції ВР, або виріб, що містить таку ВР
D	Вторинна детонуюча ВР, димний порошок або виріб, що містить вторинну детонуючу ВР, у будь-якому випадку без засобів ініціювання та без металюного заряду, а також виріб, що містить первинну ВР і має два або більше ефективних запобіжних пристрої
Е	Виріб, що містить вторинну детонуючу ВР, без засобів ініціювання, але з металюним зарядом (крім виробу, що містить легкозаймисту рідину, гель або самозаймисту рідину)
F	Виріб, що містить вторинну детонуючу ВР, з власними засобами ініціювання, з металюним зарядом (крім виробів, що містять легкозаймисту рідину, гель або самозаймисту рідину) або без металюного заряду
G	Піротехнічна речовина або виріб, що містить піротехнічну речовину, а також виріб, що містить як ВР, так і освітлювальну, запалювальну, сльозогінну речовини або речовину, що утворює дим (крім виробу, що активується водою, або виробу, що містить білий фосфор, фосфіди, пірофорну речовину, легкозаймисту рідину або гель або самозаймисту рідину)

1	2
H	Виріб, що містить як ВР, так і білий фосфор
J	Виріб, що містить як ВР, так і легкозаймисті рідину або гель
K	Виріб, який містить як ВР, так і токсичний хімічний агент
L	ВР або виріб, що містить ВР, яка виявляє особливу небезпеку (наприклад, у зв'язку з активуванням водою або наявністю самозаймистих рідин, фосфідів або пірофорної речовини) та потребує ізоляції кожного виду
N	Виріб, що містить тільки надзвичайно нечутливі детонувальні речовини
S	ВР або виріб, що упаковані або сконструйовані так, що будь-які небезпечні наслідки випадкового спрацьовування не виходять за межі їхнього пакування, а у випадку пошкодження пакування під час пожежі будь-які ефекти вибуху або розкидання обмежені настільки, що майже не перешкоджають вживанню протипожежних або інших аварійних заходів у безпосередній близькості до пакування

Питання для самоконтролю знань

1. На які класи поділяють всі промислові ВР? У чому полягає принцип такого поділу?
2. Назвіть ВР, які належать до індивідуальних.
3. Назвіть ВР, які відносять до вибухових сумішей.
4. Перелічіть основні вимоги, що висуваються до промислових вибухових речовин.
5. Перерахуйте ВР відповідно до сфер їх застосування.
6. Які ВР називають індивідуальними?
7. Які ВР називають бризантними? Чим вони відрізняються від ініціюючих?
8. Які ВР належать до металевих? Чому?
9. Які вибухові речовини називають промисловими? З якої причини їх виділяють в окрему групу?
10. Перерахуйте основні компоненти промислових ВР.
11. Назвіть найбільш важливі властивості промислових ВР.
12. Які запобіжні заходи передбачені «Правилами безпеки ...» при поводженні з ВР, що мають фізико-хімічні порушення?
13. Назвіть основні властивості аміачно-селітряних ВР.
14. Назвіть основні властивості азиду свинцю і гримучої ртуті.
15. Перерахуйте основні властивості гексогену, октогену, ТЕНу.
16. Назвіть основні властивості нітрогліцерину і нітрогліколю.

17. Які основні добавки використовують в аміачно-селітряних вибухових речовинах?
18. Нітрогліцеринові ВР і їх основні характеристики.
19. Незапобіжні ВР II класу та сфера їх застосування.
20. Запобіжні ВР III класу та сфера їх застосування.
21. Запобіжні ВР IV класу та сфера їх застосування.
22. Запобіжні ВР V класу та сфера їх застосування.
23. Запобіжні ВР VI класу та сфера їх застосування.
24. Запобіжні ВР VII класу та сфера їх застосування.
25. Назвіть основні особливості детонації промислових ВР.
26. Які існують способи безполум'яного підривання? Їх переваги.
27. Відповідальність керівника та головного інженера шахти за порушення порядку зберігання, обліку та використання вибухових матеріалів.
28. Відповідальність керівника підричних робіт за порушення порядку зберігання, обліку та використання вибухових матеріалів.
29. Відповідальність начальника дільниці підричних робіт за порушення порядку зберігання, обліку та використання вибухових матеріалів.
30. Відповідальність гірничого майстра, майстра, начальника зміни дільниці, де проводяться підричні роботи, за порушення порядку зберігання, обліку та використання вибухових матеріалів.
31. Відповідальність майстра-підричника (підричника) за порушення порядку зберігання, обліку та використання вибухових матеріалів.

Список рекомендованої літератури

1. Взрывное дело / С.А. Ловля [и др.]. – Москва: Недра, 1976. – 272 с.
2. Физика взрыва / Ф.А. Баум [и др.]. – Москва: Наука, 1975. – 704 с.
3. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – Москва: Недра, 1988. – 358 с.
4. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом / Б.Н. Кутузов. – Москва: МГИ, 1992. – 516 с.
5. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах: пер. с англ. / М.А. Кук; под ред. Г.П. Демидюка и Н.С. Бахаревича. – Москва: Недра, 1980. – 453 с.

6. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13 : затв. М-вом енергетики та вугіл. пром-сті України 12.06.2013. – Луганськ : ЛЕТЦ, 2013. – 194 с.

7. Багал Л.И. Химия и технология инициирующих веществ / Л.И. Багал. – Москва: Машиностроение, 1975. – 456 с.

8. Орлов Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ. – Ленинград: Химия, 1973. – 688 с.

9. Данилов Ю.Н. Промышленные взрывчатые вещества: текст лекций : в 2 ч. Ч. 1. Иницирующие взрывчатые вещества / Ю.Н. Данилов, М.А. Илюшин, И.В. Целинский. – Санкт-Петербург: СПб ГТИ(ТУ), 2001. – 112 с.

10. Лоскутов Л.А. Определение чувствительности инициирующих взрывчатых веществ к удару и лучу огня: метод. указания / Л.А. Лоскутов, А.С. Козлов. – Санкт-Петербург: СПб ГТИ(ТУ), 2002. – 12 с.

11. Афанасьев Г.Т. Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом / Г.Т. Афанасьев, В.К. Боболев. – Москва: Наука, 1968. – 174 с.

12. Андреев С.Г. Основы теории чувствительности энергетических материалов / С.Г. Андреев, В.С. Соловьев. – Москва: ЦНИИТИ, 1985. – 181 с.

13. Аванесов Д.С. Практикум по физико-химическим испытаниям взрывчатых веществ: учеб. пособие / Д.С. Аванесов. – Москва: Оборонгиз, 1959. – 166 с.

14. Металлокомплексы в высокоэнергетических композициях: монография / М.А. Илюшин, А.М. Судариков, И.В. Целинский и др. ; под ред. И.В. Целинского. – Санкт-Петербург: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2010. – 188 с.

15. Лоскутова Л.А. Исследование кинетики термического разложения высокоэнергетических систем на ИВК «Вулкан»: метод. указания / Л.А. Лоскутова, А.С. Козлов. – Санкт-Петербург: СПбГИ (ТУ), 2002. – 24 с.

16. Желтоножко А.А. Состояние и перспективы развития промышленных взрывчатых веществ и средств инициирования в Украине и за рубежом / А.А. Желтоножко, В.Р. Закусило // Информационный бюллетень. – 2009. – Июль–сентябрь. – С. 6–11.

17. Соболев В.В. Технологія та безпека виконання вибухових робіт. Практикум: підручник для ВНЗ / В.В. Соболев, І.І. Усик, Р.М. Терещук. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2014. – 176 с.
<http://bg.nmu.org.ua/ua/4stud/files-to-downloud/tbvvr/index2.php>

3. СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ ПІДРИВАННЯ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

У розділі наведено класифікацію способів та засобів підривання зарядів промислових вибухових речовин. Розглянуто електричні, неелектричні та комбіновані способи підривання зарядів.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти:

– класифікувати способи та засоби підривання зарядів промислових вибухових речовин;

– аналізувати гірничо-геологічні й гірничотехнічні умови та на основі аналізу обирати способи та засоби підривання зарядів промислових вибухових речовин;

– обирати заходи з техніки безпеки під час виконання підривних робіт.

Збудження детонації в зарядах ВР, яке здійснюється надійним і раціональним способом, є однією з головних умов ефективного розвитку технології підривних робіт. У світовій практиці використовуються різні способи підривання зарядів, які можна розділити на три групи: електричні, неелектричні та комбіновані.

3.1. Підривання за допомогою електродетонаторів

У системах електричного ініціювання енергія від зовнішнього джерела електричного струму передається до електродетонаторів (зарядів ВР) по електропідривним мережам. Основними елементами електричного підривання є електродетонатори нормальної чутливості (рис. 3.1, а).

Для підвищення надійності спрацьовування капсуль-детонаторів первинні ініціюючі ВР (ІВР) додатково запресовують у спеціальну металеву чашечку, що зменшує відтік газів. Такі умови сприяють більш швидкому переходу горіння в детонацію. Крім цього, така конструкція є в меншій мірі вибухонебезпечною в процесі спорядження ініціюючих ВР і збірці ЕД.

Існує так званий ефект перепресування ІВР – зі збільшенням тиску пресування ІВР втрачає здатність переходу горіння в детонацію в зв'язку з різким уповільненням часу цього переходу.

Електродетонатори розрізняють за такими ознаками:

- за видом заряду ініціюючої ВР, яка в ньому знаходиться: гримучортут-нотетріловий і азидотетріловий;
- за часом спрацьовування: миттєвої (рис. 3.1, а), короткоуповільненої (рис. 3.1, б) та уповільненої дії (рис. 3.1, в);
- за конструктивним оформленням і за призначенням: загального призначення; для сейсмозвідки, обробки металів; для торпедування нафтових свердловин та ін.;
- за умовами застосування: незапобіжні й запобіжні – для шахт, небезпечних за вибухом газу або пилу;

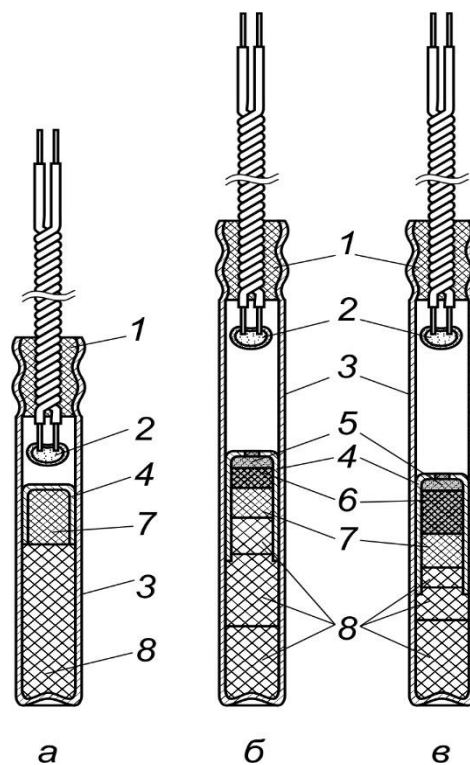


Рис. 3.1. Електродетонатори миттєвої – ЕД (а),

короткоуповільненої – ЕДКУ (б) та уповільненої ЕДУД (в) дії:

- 1 – пробка; 2 – запальна головка (місток розжарювання); 3 – корпус (гільза);
 4 – втулка (чашечка); 5 – запалювальна суміш; 6 – уповільнююча суміш;
 7 – первинний заряд ВР; 8 – вторинний заряд ВР

- за чутливістю до блукаючих струмів: нормальної (опір не більше 2,8 Ом, імпульс запалення $0,8 - 1,8 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$) і зниженої чутливості (опір $0,2 - 0,3 \text{ Ом}$, імпу-

льс запалення $25 - 50 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$, не спрацьовують від струму 1 A , що протікає протягом 5 хв), нечутливі або грозостійкі (опір $0,08 - 0,11 \text{ Ом}$, імпульс запалення $11005 - 2500 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$, не спрацьовують від струму 5 A , що протікає протягом 5 хв).

Світові фірми виготовляють електродетонатори високоточні з жорстко фіксованими інтервалами часу уповільнення, нові системи ЕД, захищені від дії статичної електрики, блукаючих та інших сторонніх струмів, прецизійної дії, застосовують електронні пристрої для програмування послідовного ініціювання зарядів та ін. Розроблені різні прилади для їх підривання і контрольно-вимірвальна апаратура.

Переваги електричного способу підривання полягають у можливості перевірки кожного ЕД і всієї електропідривної мережі перед вибухом. Провідними світовими виробниками електричних засобів підривання є компанії «Нітро Нобель» (Швеція), «Дюпон», «Атлас Паудер», «Остин Паудер», «Геркюлес Інк», «Енсайн-Бікфорд» (США), «Ай-Сі-Ай Нобель Іксплозівс» (Великобританія) та ін.

Найбільш поширеними типами ЕД і відповідними способами підривання у вугільних шахтах є: «Акудет Марк V», «Тренчдет», «Геркюлес Інк», «Мастердет», «Магнадет», «Магна» та ін.

Основні параметри електродетонаторів:

- опір ЕД – сума електричного опору містка розжарювання і вивідних проводів у холодному стані;
- безпечний струм – максимальне значення (верхня межа) постійного струму, який не викликає вибух при необмеженому часі його проходження через ЕД ($\approx 0,18 \text{ A}$);
- тривалий запалювальний струм – мінімальне значення (нижня межа) постійного струму, який, протікаючи через ЕД більше ніж за хвилину, викликає його вибух;
- стомілісекундний запалювальний струм – значення постійного струму, який, протікаючи через ЕД протягом 10 мс , викликає його вибух;
- імпульс займання – найменше значення імпульсу струму (постійного), при якому відбувається запалення електрозапальника;
- час передачі – час від моменту займання електрозапальника ВР до моменту виходу променя вогню з його головки, а для ЕД миттєвої дії – до його вибуху;

- час спрацьовування – час від моменту вмикання струму до моменту вибуху ЕД;

- гарантійний струм – мінімальний струм, який, проходячи через послідовно включені ЕД, викликає в них займання всіх електрозапальників. Гарантійна величина змінного струму задається 2,5 А. У разі використання постійного струму його гарантійна величина повинна бути не меншою ніж подвоєне значення стомілісекундного струму, тобто 1 А, однак при одночасному вибуху 100 ЕД це значення збільшується до 1,3 А.

Для проведення підривних робіт у вугільних і сланцевих шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу, з 1990 р. випускаються запобіжні потужні ЕД уповільненої дії зниженої чутливості до дії зарядів статичної електрики і блукаючих струмів типу ЕДКУ-ПК і нормальної чутливості до дії зарядів статичної електрики і блукаючих струмів типу ЕДКУ-ПКМ. Для шахт, небезпечних за вибухом газу або пилу, випускаються також незапобіжні ЕД з уповільненням типу ЕД-З-Н, які мають 23 серії уповільнення.

У табл. 3.1 наведені характеристики трьох типів електродетонаторів (рис. 3.1), що застосовуються при вибухових роботах у вугільних шахтах.

Технологія електричного підривання включає таку послідовність виконання робіт:

- перевірити і підібрати електродетонатори за опором;
- виготовити патрони-бойовики (рис. 3.2), їх виготовляють безпосередньо у вибої виробки, що проводиться; при електричному підриванні – не розгортаючи оболонки, на одному з торців патрона роблять заглибину, у неї вводять електродетонатор, потім на патрон накидають петлю з детонаторних проводів і обв'язують його;
- подати попереджувальний сигнал (один тривалий), ввести заряди ВР у шпури, свердловини або камери і зробити їх забійку;
- виконати монтаж електропідривної мережі;
- перевірити справність електропідривної мережі та визначити її опір;
- подати бойовий сигнал (два тривалих), під'єднати магістральні проводи до джерела струму і зробити вибух;
- після провітрювання оглянути підірваний вибій; при наявності відмов ліквідувати їх;
- подати сигнал відбою (три коротких).

Типи електродетонаторів та інтервали уповільнення

Електродетонатори	Інтервал уповільнення між серіями, мс	Уповільнення з максимальними відхиленнями (час спрацьовування), мс	Колір забарвлення придонної ділянки гільзи
ЕД-8е	–	Миттєве	Не фарбується
ЕД-8ж	–	Миттєве	– // –
ЕДКУ-03	–	4 ± 2	– // –
ЕДКУ-13М	15	15 ± 7	Чорний
ЕДКУ-23М	15	30 ± 7	Червоний
ЕДКУ-33М	15	45 ± 7	Не фарбується
ЕДКУ-43М	15	60 ± 7	Зелений
ЕДКУ-53М	20	80 ± 10	Жовтий
ЕДКУ-63М	20	100 ± 10	Білий
ЕДКУ-73М	20	120 ± 10	Синій
ЕДКУ-13	25	25 ± 7	Чорний
ЕДКУ-23	25	50 ± 7	Червоний
ЕДКУ-33	25	75 ± 110	Не фарбується
ЕДКУ-43	25	100 ± 10	Зелений
ЕДКУ-53	25	125 ± 10	Жовтий
ЕДУД-7	500	500 ± 50 – 150	Жовтий
ЕДУД-8	250	750 ± 125 – 150	Рожевий
ЕДУД-9	250	1000 ± 300 – 75	Помаранчевий
ЕДУД-10	500	1500 ± 350 – 150	Блакитний
ЕДУД-11	500	2000 ± 600 – 100	Світло-бузковий
ЕДУД-12	2000	4000 ± 500	Білий
ЕДУД-13	2000	6000 ± 600	Чорний
ЕДУД-14	2000	8000 ± 900	Зелений
ЕДУД-15	2000	10000 ± 1600 – 800	Фіолетовий

Примітка. Довжина ділянки гільзи, що забарвлена, в ЕДУД-13, 14, 15 дорівнює 10 – 15 мм, а на всіх інших електродетонаторах – 5 – 7 мм.

При підриванні ЕД у вугільних і сланцевих шахтах прийнята єдина схема – послідовне з'єднання електродетонаторів.

Переваги схеми послідовного з'єднання:

- через усі ЕД проходить електричний струм однакового розміру;
- для вибуху необхідне джерело струму мінімальної потужності;
- менша довжина проводів, простота монтажу, легкий контроль за справністю електропідривної мережі;
- простота розрахунків електропідривної мережі.

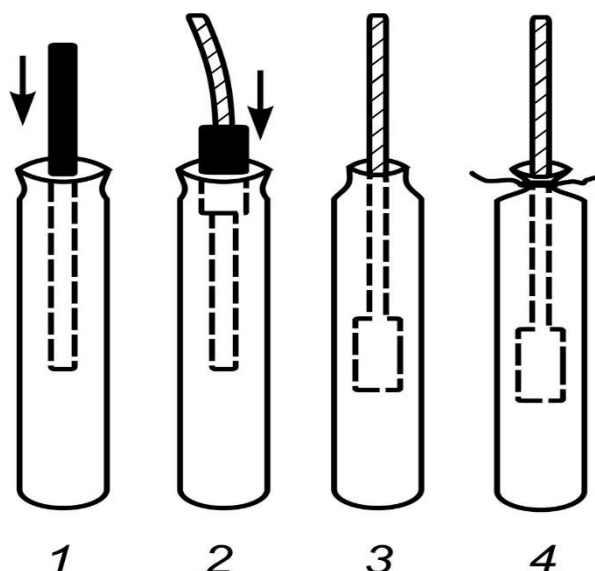


Рис. 3.2. Послідовність виготовлення патрона-бойовика:

- 1 – створення поглиблення під детонатор у торці патрона ВР;
- 2 – встановлення детонатора контрольної трубки в патрон;
- 3 – закриття торця патрона; 4 – зав’язування торця патрона

Недоліки схеми послідовного з’єднання:

- небезпека масової відмови в разі потрапляння в електропідричну мережу дефектного ЕД;
- неможливість одночасного підривання великої кількості електродетонаторів.

Удосконалення технології та методів контролю за безпекою електропідривання відкрили нові можливості для розвитку електричного способу підривання під час відкритих і підземних гірничих робіт.

Однак розвиток будь-якої технічної системи, як і електричного способу підривання зарядів ВР, кінець кінцем, призводить до необхідності створення принципово нових елементів (як, наприклад, система «Магнадет»), або принципово нової системи, фізико-технічні параметри якої виключили б недоліки існуючої.

Так, аналізуючи електричну систему підривання зарядів ВР, можна виділити недоліки, характерні для різних етапів її розвитку.

1. Недоліки, які визначаються фізико-технічними характеристиками елементів (недоліки очевидні). Цей тип недоліків покладений в основу всього способу технічної реалізації фізичного ефекту, що використовується. До цього типу

належать недоліки, пов'язані з небезпекою передчасного (несанкціонованого) вибуху в результаті появи в мережі сторонніх струмів, складністю монтажу мережі, особливо при великій кількості ЕД, а також з токсичністю продуктів вибуху ЕД.

2. Недоліки, що виникають у процесі експлуатації системи і її елементів (недоліки приховані). До цього типу можна віднести, наприклад, зниження рівня безвідмовності дії ЕД протягом гарантійного терміну зберігання.

3. Недоліки потенційні, тобто пов'язані зі зміною експлуатаційних вимог при вдосконаленні технологічного процесу в цілому. Від того, наскільки високий фізичний потенціал системи та її незатребувані приховані можливості, залежить майбутнє системи, пов'язане з ефективною її експлуатацією. До таких недоліків відносять незадовільні параметри, що характеризують точність інтервалу уповільнення ЕД.

4. Технологічні недоліки, пов'язані з недотриманням ТУ виробника елементів системи. Визначено як приховані дефекти ЕД (неякісний контакт містка розжарювання з вилючкою та ін.).

Перераховані недоліки різко знижують рівень безпеки й ефективності електричного способу підривання.

Фахівцями ДержМакНДІ (проф. Кашуба О.І.) встановлено, що відмови шпурових зарядів ВР у вугільних і сланцевих шахтах відбуваються в основному з технічних причин і залежать від якості виготовлення основних елементів системи.

Крім цього, рівень якості елементів визначено нормативно-технічною документацією, яка встановлює допустиму ймовірність появи відмови протягом року, що дорівнює 10^{-6} . А рівень експлуатаційної якості промислових ЕД становить $3 \cdot 10^{-3}$. Таким чином, в електричній системі основним елементом, що призводить до зниження безпеки дії системи, є ЕД.

3.1.1. Підривні роботи із застосуванням ЕД (НПАОП 0.00-1.66-13)

«Правилами безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» передбачені наведені далі основні вимоги при підриванні із застосуванням електродетонаторів.

ЕД перед видачею їх у роботу повинні бути перевірені в приміщенні складу ВМ відповідно до інструкцій із застосування.

Під час перевірки ЕД повинен міститися у футерованій металевій трубці, за щитом або в спеціальному пристрої, що унеможлиблює ураження людей у випадку вибуху. Після перевірки опору провідники ЕД повинні бути замкнуті накоротко та у такому стані перебувати весь час до моменту приєднання до підривної мережі. Під час виконання цієї операції на робочому місці дозволяється мати не більше 100 ЕД.

ЕД використовуються під час ведення підривних робіт за умови їх обов'язкового маркування спеціальними пристроями відповідно до наказу Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 03 жовтня 2007 року № 238 «Про затвердження індексів для маркування електродетонаторів і капсулів-детонаторів у металевих гільзах», зареєстрованого у Міністерстві юстиції України 18 жовтня 2007 року за № 1193/14460 (НПАОП 0.00-7.09-07). Маркування дозволяється наносити на ЕД хімічними фарбами.

Електропідривні мережі повинні мати справну ізоляцію та надійні електричні з'єднання.

Кінці проводів і жил кабелів повинні бути ретельно зачищені, щільно зрощені, а з'єднання (зростки) ізолювані за допомогою спеціальних затискачів або інших засобів.

У шахтах (рудниках), небезпечних за газом та (або) пилом, проводи ЕД та електропідривної мережі повинні з'єднуватися тільки із застосуванням контактних затискачів.

Електропідривна мережа повинна бути двопровідною. Використання води, землі, труб, рейок, канатів тощо як провідників забороняється. До початку заряджання підривник (майстер-підривник) повинен оглянути підривну магістраль та переконатися в її справності.

У шахтах (рудниках), небезпечних за газом та (або) пилом, повинні застосовуватися ЕД тільки з мідними проводами. Ця вимога поширюється також на сполучні і магістральні проводи (кабелі) підривної мережі.

Забороняється монтувати електропідривну мережу в напрямку від джерела струму або пристрою, що вмикає струм, до заряду.

Для конкретних умов порядок монтування електропідривної мережі визначається паспортом на ведення підривних робіт.

Після монтажу електропідривної мережі необхідно перевірити її провідність з безпечного місця.

Постійна підривна магістраль повинна розміщуватись на відстані від місця вибуху не менше ніж на 100 м.

Перед підриванням свердловинних та камерних зарядів загальний опір всієї електропідривної мережі повинен бути підрахований і потім виміряний з безпечного місця призначеними для цього електровимірювальними приладами. У разі розбіжності виміряного та розрахункового опорів мережі більше ніж на 10% необхідно усунути несправності, що викликають відхилення від розрахункового опору електропідривної мережі. У разі відсутності можливості вимірювання опору електропідривної мережі з дозволу посадової особи, що керує проведенням вибуху, дозволяється обмежитися перевіркою її провідності.

Підривання зарядів із застосуванням радіоімпульсу необхідно здійснювати відповідно до вимог типового проекту БПР, розробленого та затвердженого суб'єктом господарювання, що здійснює підривні роботи.

До підключення ЕД до затискачів виконавчого блока або введення в нього хвилеводів підривник повинен упевнитись, що виконавчий блок заблоковано. Після цього ЕД дозволяється приєднувати до підривної мережі.

Включення струму для підривання зарядів ВР повинно проводитися з безпечного місця. Підривний прилад повинен мати спеціальні клеми для приєднання магістральних проводів електропідривної мережі. Приєднання магістральних проводів до підривного приладу (машинки) необхідно проводити в місці укриття підривника. Під час проведення МВ вмикання струму потрібно здійснювати тільки за командою керівника підривних робіт МВ.

Кінці проводів змонтованої частини електропідривної мережі повинні бути замкнуті накоротко протягом усього часу, що передує приєднанню їх до проводів наступної частини електропідривної мережі. Забороняється приєднання проводів вже змонтованої частини електропідривної мережі до наступних проводів, поки їх протилежні кінці не будуть замкнуті накоротко.

Кінці магістральних проводів електропідривної мережі також повинні бути замкнуті протягом усього часу до приєднання їх до клем приладу або пристрою, що вмикає струм для підривання зарядів ВР.

У разі дублювання ЕД для уникнення переплутування проводів основних і дублюючих ЕД проводи кожного з них повинні бути звиті, а після закінчення заряджання змотані в окремі бухти.

Під час проведення МВ проводи основної і дублюючої електропідливних мереж повинні бути замарковані.

З усіх електроустановок, кабелів, контактних і повітряних проводів та інших джерел електроенергії (у тому числі джерел небезпечних електромагнітних випромінювань), що діють у зоні монтажу електропідливної мережі, напруга повинна бути знята до моменту монтажу мережі.

У підземних умовах зоною монтажу електропідливної мережі є виробки, в яких монтується така мережа.

На земній поверхні до зони монтажу електропідливної мережі повинна включатися поверхня, що обмежена контуром, який на 50 м перевищує контур електропідливної мережі, незалежно від висоти підвіски провідників електричного струму, а під час прострільно-підливних робіт у свердловинах – відповідно на 10 м.

У необхідних випадках повинні здійснюватися додаткові заходи захисту від блукаючих струмів (застосування захищених ЕД, виключення повторного використання сполучних проводів, обов'язкове застосування спеціальних затискачів для ізоляції скруток проводів тощо), затверджені керівником суб'єкта господарювання.

Під час монтажу електропідливної мережі в підземних виробках дозволяється не відключати напругу освітлювальної електричної мережі напругою не більше ніж 42 В, вентилятори місцевого провітрювання та апаратуру в особливому рудничному виконанні у зонах, що знаходяться у межах монтажу.

Забороняється проводити електричне підливання безпосередньо від силової або освітлювальної мережі без призначених для цієї мети пристроїв.

Під час підливання із застосуванням ЕД вихід підливника (майстра-підливника) з укриття після вибуху дозволяється не раніше ніж через 5 хвилин і тільки після від'єднання електропідливної мережі від джерела струму та замикання її накоротко.

Якщо під час включення струму вибух не відбувся, підливник (майстер-підливник) повинен від'єднати від приладу (джерела струму) електропідливну мережу, кінці її замкнути накоротко, взяти із собою ключ від приладу (ящика, в

якому перебуває підрильний пристрій) і тільки після цього з'ясувати причину відмови. Виходити з укриття в цьому випадку дозволяється не раніше ніж через 10 хвилин незалежно від типу застосовуваних ЕД.

Допускати людей до місця вибуху дозволяється лише з дозволу керівника підрильних робіт не раніше ніж через 15 хвилин після одержання інформації про те, що виконавчий блок перебуває у заблокованому стані.

У місцях зберігання під час перевезення та використання ЕД забороняється користуватися джерелами електромагнітного випромінювання (стільниковими телефонами, переносними радіостанціями тощо).

3.2. Неелектричні способи ініціювання зарядів ВР

Перспективи неелектричних систем ініціювання полягають в розширенні можливостей і збільшенні ефективності управління енергією вибуху, наприклад, за рахунок тривалості загального часу дії вибуху на породний масив, спрямованості й заданої за часом послідовності проходження вибуху по свердловинах, зниження сейсмічної дії вибуху та ін. Точність спрацьовування вибуху свердловинного заряду характеризується компактною формою розвалу підірваної гірської маси, значним зменшенням виходу і розмірів негабариту, зниженням сейсмічного ефекту й іншими показниками.

Система ініціювання «Нонель» виробництва шведської компанії «DYNNO NOBEL» призначена для відкритих і підземних підрильних робіт, у тому числі й в умовах шахт, небезпечних за вибухом газу або пилу, дозволяє створювати схеми підривання зарядів з практично необмеженими можливостями управління процесами руйнування масивів гірських порід.

Основним елементом системи «Нонель» є порожнистий пластиковий шнур-хвилевід, внутрішня поверхня якого вкрита тонким шаром вибухової суміші. При ініціюванні повітряна ударна хвиля поширюється по каналу шнура зі швидкістю близько 2000 м/с. Ударна хвиля передає енергію, достатню для ініціювання КД, закріпленого на одному з кінців шнура-хвилеводу.

Шнур «Нонель», виконаний у вигляді пластикової трубки (зовнішній діаметр 3 мм, внутрішній – 1,5 мм), не має вибухових властивостей, він ні за яких умов не збуджує детонацію ні в одному з ВР, які використовуються на практиці.

Шнур не вибухає ні від удару, ні від впливу вогню. При передачі ударної хвилі шнур не руйнується, виконуючи роль тільки лише провідника сигналу.

Шнури серії HD мають підвищену міцність на розрив, зносостійкість і зберігають свою працездатність до температури +50°C. КД «НОНЕЛЬ» являє собою алюмінієву гільзу, у середині якої знаходиться чутлива до вогню первинна ініціююча ВР, що викликає детонацію у вторинній бризантній ВР. Основними перевагами системи є висока надійність, байдужість до дії блукаючих струмів, електростатичних зарядів і електромагнітних полів у діапазоні різних частот. Недоліками є багатoelementність і неможливість перевірки цілісності підривної мережі.

Система ініціювання зарядів промислових ВР з використанням електричних і неелектричних засобів СІНВ («Іскра») є неелектричною системою ініціювання з низькоенергетичними провідниками імпульсів СІНВ на основі ударно-хвильової трубки і неелектричних капсуль-детонаторів. Неелектричні детонатори спрацьовують від потоку продуктів реакції, що поширюються по ударно-хвильовій трубці.

Залежно від призначення випускають такі системи СІНВ для підривних робіт на денній поверхні: СІНВ-П, що сповільнює передачу ініціюючого імпульсу на поверхні, СІНВ-С, що забезпечує внутрішньо-свердловинне уповільнення, і СІНВ-П/С, що є аналогом зарубіжних зразків «EVEL», «PRIMADET» та об'єднує пристрої СІНВ-П і СІНВ-С.

Капсуль-детонатор, який застосовується в СІНВ-П, має знижену потужність і здатний ініціювати до 8 хвилеводів цієї системи. Ініціювання свердловинних зарядів здійснюють бойовиками, які складаються з шашок-детонаторів типу ТГФ-850Е або Т-400Г, що мають посадочне гніздо під неелектричний капсуль-детонатор СІНВ-С і наскрізний канал для розміщення ударно-хвильової трубки.

Система ініціювання «Едилін» (ВАТ «Муромець») призначена для ініціювання зарядів вибухових речовин при виконанні підривних робіт на земній поверхні й в підземних умовах, безпечних за газом і (або) пилом при температурі навколишнього середовища від -50 до +85 °С для детонаторів свердловинного і шпурового і від -50 до +65 °С для детонатора поверхневого зі з'єднувальним блоком.

Система «Едилін» включає в себе такі елементи: детонатор свердловинний ДБ11, детонатор шпуровий ДБ13, детонатор поверхневий ДБ12 зі з'єднувальним

блоком, магістральний хвилевід діаметром 4 мм, пристрої для ініціювання хвилеводу ІВ-2АМ (за допомогою електричного розряду) і УС-2 (механічне, за допомогою капсуль-запальників «Жевело», КВ-22, КВ-24), з'єднувач хвилеводів В-В, з'єднувач хвилеводу з детонувальним шнуром В-Ш. Швидкість передачі вибухового імпульсу по хвилеводу 1800 ± 100 м/с.

Характеристики системи «Едилін» значно поступаються аналогічним шведським і американським системам, а також і російській системі ініціювання низькоенергетичного хвилеводу – СІНВ.

На ДержНДІХП (м. Шостка) тривають роботи із створення елементів неелектричної системи ініціювання зарядів ВР – «Імпульс». Однією з найбільш важливих задач, які вирішуються при створенні даної системи, є розробка технології виробництва трубки-хвилевода, від надійності й стабільності службових режимів роботи та якості її виготовлення залежать характеристики системи в цілому.

У деяких країнах використовується система ініціювання серії свердловинних зарядів, у якій поверхнева (магістральна) підривна мережа виконана із закільцьованого детонувального шнура, а внутрішньосвердловинна – з неелектричної хвилеводної системи типу «Нонель» з передачею ініціюючого імпульсу по ударно-хвильовій трубці, яка з'єднана з неелектричним детонатором. Уповільнення між свердловинами створюють на поверхні піротехнічними реле, врізаними в магістраль з детонувального шнура, а внутрішньосвердловинне уповільнення – неелектричними детонаторами. Ініціювання свердловинних зарядів здійснюється контактними (легкими) проміжними детонаторами, що складаються з детонатора «Проукор 5», вміщені в пластикову оболонку, наскрізні канали якого пропускають відрізки ударно-хвильової трубки «Нонель», і з'єднані з неелектричним капсуль-детонатором. У периферійній частині корпусу через наскрізний канал пропущений низькоенергетичний детонувальний шнур, що знаходиться в контакті з ударно-хвильовою трубкою «Нонель». За допомогою низькоенергетичного детонувального шнура, «ковзаючи», проміжні детонатори опускають у свердловину. На одній нитці такого шнура в свердловині може бути розміщено декілька проміжних детонаторів з різними періодами уповільнення для ініціювання окремих частин розосередженого заряду.

Підривання за допомогою НСІ, наприклад «Нонель» або її аналоги СІНВ і «Едилін», нечутливі до блукаючих та інших сторонніх струмів, що дозволяє виконувати підривні роботи без знеструмлення енергетичного обладнання, відрізняються зручністю монтажу підривною мережі, підвищеною безпечністю при зберіганні, транспортуванні за рахунок відсутності ініціюючих вибухових речовин в неелектричних детонаторах. Ці системи ініціювання дозволяють створювати схеми короткоуповільненого підривання зарядів з практично необмеженими можливостями управління процесами руйнування масивів гірських порід, ефективно знижувати сейсмічну і повітряно-ударну дію вибуху.

Недоліком даної системи ініціювання зарядів вибухових речовин є неможливість контролю якості монтажу підривної мережі, можливість підбивки внутрішньосвердловинних ліній через низьку швидкість поширення ударно-хвильового імпульсу по хвилеводам поверхневої мережі, відмови підривання при помилках монтажу підривної мережі, необхідність випереджаючого ініціювання капсуль-детонаторів поверхневої мережі по відношенню до внутрішньосвердловинних через складну комбінацію узгоджень інтервалів уповільнень неелектричних детонаторів. Усі перераховані вище фактори, а також недостатня надійність роботи шашок-детонаторів (ТГФ-850Е, Т-400Г), що містять тротил, які не мають захисту зовнішньої поверхні від агресивної дії зовнішнього середовища, призводять у ряді випадків до відмов підривання свердловинних зарядів вибухових речовин.

Недоліком зазначеної системи ініціювання є використання детонувального шнура в поверхневих мережах з піротехнічними уповільнювачами, що обмежують можливості створення складних схем комутації зарядів для забезпечення інтенсивного дроблення масиву гірських порід. Крім цього, до недоліків слід віднести можливість контакту відкритих ділянок вибухових речовин проміжного детонатора з агресивними внутрішньосвердловинними водами і породами, відсутність повного захисту проміжного детонатора і засобів його ініціювання від зовнішнього механічного впливу.

На даний час приділяється велика увага обґрунтуванню і вибору раціональних інтервалів уповільнення свердловинних і поверхневих капсуль-детонаторів НЕСІ. У зв'язку з цим проводилися порівняльні випробування на час спрацьовування систем неелектричного ініціювання NONEL, EXEL, PRIMADET,

СІНВ, «Едилін» різних виробників. При дослідженнях особлива увага приділялася свердловинним детонаторам для порівняння вимірювалися час обраних і фактичних уповільнень систем. Встановлено (за даними сейсмограм), що фактична тривалість вибуху в переважній більшості випадків відрізнялася від вибраних значень уповільнення в інтервалі величиною від -2 до $+60$ %.

У системі «Едилін» при необґрунтованому застосуванні високих інтервалів, починаючи з п'ятисекундних уповільнень, верхній діапазон часу уповільнення перебиває нижній, що є неприйнятним при КУВ. Цей недолік з великою ймовірністю може викликати відмови свердловинних зарядів.

До неелектричних способів ініціювання зарядів ВР належать вогневе підривання, яке здійснюється за допомогою вогнепровідного шнура, капсуль-детонатора і запального патрона. У сучасних неелектричних способах підривання передачу енергії від зовнішнього джерела до детонатора здійснюють за допомогою світловодів, а також порожнього пластикового шнура різних конструкцій, у яких:

- внутрішня поверхня шнура покривається тонким шаром ВР (система «Нонель», «Едилін», «УНСІ», «Сніжинка», «Деталайн» та ін.);
- внутрішній обсяг шнура заповнюється вибуховою газовою сумішшю (система «Херкудет»); внутрішні стінки покриваються горючою сумішшю, що горить зі швидкістю до 1000 м/с (система LVST).

3.2.1. Вогневе ініціювання зарядів

Вогнепровідний шнур (ВШ) (рис. 3.3) являє собою спресовану з димного порошу і добавок пластифікатора серцевину з центральною направляючою ниткою, закриту нитяним обплетенням гідроізоляційним шаром. Зовнішній діаметр шнура 5,5 мм відповідність до вимог «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» відрізок ВШ довжиною 60 см повинен згорати за 60 – 68 с.

Основні види ВШ: екструзійний ВШЕ в поліетиленовій оболонці, асфальтований ВША призначені для сухих і вологих вибоїв, подвійний асфальтований ВШДА – для мокрих вибоїв, пластикатний ВШП – для обводнених вибоїв.

Капсуль-детонатор (рис. 3.4) являє собою циліндричну гільзу (мідну, алюмінієву або біметалічну) діаметром 6 – 7 мм і довжиною 48 – 51 мм, споряджену

набоями ініціюючої ВР: гримуча ртуть 0,5 г), ТНРС 0,1 г, азид свинцю 0,2 г і вторинна ініціююча ВР – тетрил (або гексоген) масою 1 г.

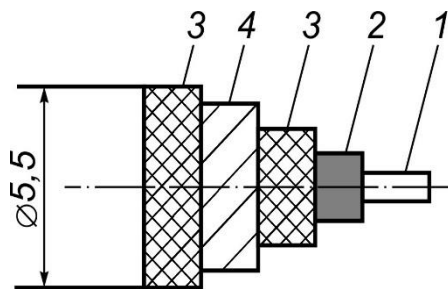


Рис. 3.3. Вогнепровідний шнур:

1 – напрямна нитка; 2 – порохова серцевина; 3 – обплетення;
4 – гідроізоляційний шар

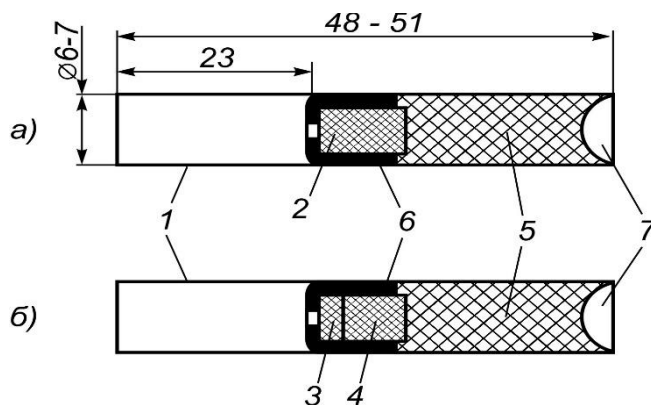


Рис. 3.4. Капсуль-детонатор

гримучортутнотетриловий № 8С (а) і азидотетриловий № 8А (б):
1 – гільза; 2 – гримуча ртуть; 3 – ТНРС; 4 – азид свинцю; 5 – тетрил;
6 – чашечка; 7 – кумулятивна виїмка

У капсуль-детонаторах заряд ініціюючої ВР вибирається таким, щоб викликати детонацію у вторинній ініціюючій ВР. Заряд вторинної ВР підбирається з умов безвідмовного ініціювання зарядів порошкоподібних промислових ВР. Для посилення ініціюючої здатності дно КД має кумулятивну виїмку.

На даний час використовують такі капсуль-детонатори:

- № 8М у мідній гільзі;
- № 8Б у паперовій гільзі;
- № 8С у біметалевій гільзі.

Капсуль-детонатори, що споряджені азидом свинцю, трохи потужніші гри-мучортутних, мають високу чутливість до тертя, удару, стиснення і вогню.

Запальні патрони (рис. 3.5) застосовують для групового підривання зарядів ВР шляхом запалювання 10 – 38 запалювальних трубок або відрізків ВШ.

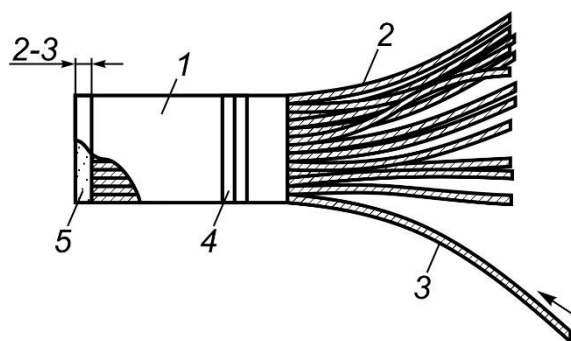


Рис. 3.5. Запальний патрон:

- 1 – гільза; 2 – запалювальні відрізки ВШ, що йдуть до зарядів ВР;
- 3 – запалювальний ВШ; 4 – фіксуєчий шпагат;
- 5 – запальна речовина (товщина шару 2 – 3 мм)

Запальна речовина складається з 85 % дрібнозернистого пороху, 5 % кані-фоллю і 10 % парафіну.

Відповідно до «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріа-лами промислового призначення» вогневий спосіб підривання у вугільних і слан-цевих шахтах заборонений до застосування.

3.2.2. Правила безпеки при вогневому підриванні (НПАОП 0.00-1.66-13)

Вогневе ініціювання. Вогневий спосіб ініціювання зарядів ВР дозволя-ється застосовувати тільки в тих випадках, коли його не можна замінити на еле-ктровогневий, НСІ, ДШ або електричний.

Якщо підготовлені до підривання заряди розміщені в місцях, що усклад-нюють їх швидке віднайдення (зарості кущів, дерев тощо), то під час вогневого ініціювання зарядів необхідно встановлювати розпізнавальні знаки, відомі під-ривникам.

Запалювальні та контрольні трубки необхідно підпалювати тліючим гно- том, відрізком ВШ або спеціальним пристосуванням. Сірником дозволяється за- палювати трубку тільки під час підривання одиночного заряду.

Під час вогневого підривання довжини ВШ у запалювальних трубках по- винні бути розраховані так, щоб забезпечувався відхід підривника від зарядів на безпечну відстань або в укриття.

Виготовлення патрона-бойовика. ПБ необхідно виготовляти на місцях проведення робіт або в інших місцях, визначених керівником суб'єкта господа- рювання, у кількостях, що потрібні для підривання зарядів за один прийом.

Під час проходки стволів шахт з поверхні ПБ повинні виготовлятися в спе- ціальних приміщеннях.

ПБ з пресованих або литих ВР необхідно виготовляти тільки з патронів (шашок) з гніздом заводського виготовлення під ініціатор. Розширювати або по- глиблювати це гніздо забороняється.

Під час виготовлення ПБ з порошкоподібних та емульсійних патронованих ВР із застосуванням ДШ кінець шнура, що детонує, у патроні повинен зав'язува- тися вузлом або складатися не менше ніж удвічі. Дозволяється обмотувати ДШ навколо патрона ВР.

Детонатор повинен вводитися в ПБ на повну глибину та надійно фіксува- тися. У цьому разі для утворення поглиблень необхідно застосовувати голки, які необхідно виготовляти з матеріалів, що не дають іскор та не кородують від взає- модії з ВР.

Виготовлення ПБ із застосуванням НСІ необхідно здійснювати відповідно до вимог ТУ на НСІ або інструкції з експлуатації.

Невикористані ПБ підлягають знищенню в порядку, способом та за умов встановлених керівником суб'єкта господарювання, відповідно до НПАОП 0.00- 6.03-06.

Виготовлення запальних і контрольних трубок. Запальні та контрольні трубки повинні виготовлятися підривниками (роздавальниками ВМ) в окремому приміщенні підготовки ВМ, у підземному складі - в камері для виготовлення за- пальних трубок.

У разі тимчасових підривних робіт тривалістю не більше шести місяців з дозволу керівника суб'єкта господарювання виготовлення запальних і контрольних трубок дозволяється проводити в окремих пристосованих для цього приміщеннях, наметах або під навісом.

Під час виготовлення запальних і контрольних трубок на столі виконавця цієї роботи може перебувати не більше ніж 100 КД з відповідною кількістю відрізків ВШ.

Виготовлені запальні трубки повинні сортуватися за довжиною, згортатися в коло та укладатися на полиці. Контрольні трубки можуть бути зв'язані в пачки шпагатом та зберігатись на тих самих полицях.

Кожна контрольна трубка повинна мати чітко видимий неозброєним оком відповідний знак.

Перед виготовленням запальної (контрольної) трубки кожний КД повинен бути оглянутий на чистоту внутрішньої поверхні гільзи і відсутність усередині її будь-яких часточок. Забороняється витягати з гільзи КД сміття уведенням до неї будь-яких пристосувань, а також видуванням.

ВШ повинен вводиться у КД до зіткнення з його чашечкою прямим рухом без обертання.

Закріплення ВШ у КД з металевою гільзою потрібно здійснювати шляхом рівномірного обтиснення краю гільзи в дульці за допомогою спеціального приладу.

При обтиску забороняється надавлювати на те місце КД, де перебуває вибухова суміш.

Закріплення ВШ у паперових гільзах необхідно здійснювати із застосуванням призначених для цього приладів або шляхом обмотування кінця ВШ прогумованою стрічкою (ниткою або паперовою стрічкою) до розмірів внутрішнього діаметра КД з подальшим прямим (без обертання) уведенням його в дульці КД або затягуванням ниткою (шпагатом) дульця гільзи КД.

Висмикувати або витягати ВШ, закріплений у КД, забороняється.

Довжина кожної запальної трубки повинна становити не менше ніж 1 м, крім встановлених у розділі X «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення». Кінець ВШ повинен виступати із шпуру не менше ніж на 25 см.

Під час підпалювання п'яти і більше трубок на земній поверхні повинна застосовуватися контрольна трубка, виготовлена з КД з паперовою гільзою, або контрольний відрізок ВШ (для контролю часу, що витрачається на запалювання).

Контрольну трубку необхідно підпалювати першою; вона повинна мати довжину до 60 см і бути меншою за довжину шнура найкоротшої із запальних трубок, що застосовуються, але не менше ніж 40 см.

У підземних умовах з тією самою метою повинен застосовуватися контрольний відрізок ВШ. Його необхідно використовувати для підпалювання запальних трубок.

Після закінчення підпалювання запальних трубок або після вибуху КД контрольної трубки (згорання контрольного відрізка шнура), а також у разі загащення контрольного відрізка всі підричники повинні негайно відійти на безпечну відстань або піти в укриття.

Контрольна трубка під час підривання на земній поверхні повинна розміщуватися не ближче ніж на 5 м від запальної трубки, що підпалюється першою, і не на шляху відходу підричників.

У зарядах з пороху ВШ запальної трубки не повинен стикатися з ВР заряду.

Зрощувати ВШ забороняється. У разі дублювання запальних трубок їх необхідно підпалювати одночасно.

Підричник повинен рахувати заряди, що вибухнули. Якщо виконати цю вимогу неможливо або який-небудь заряд не вибухнув, підходити до місця підривання дозволяється не раніше ніж через 15 хвилин після останнього вибуху.

У разі відсутності відмов дозволяється підходити до місця вибуху не раніше ніж через 5 хвилин після останнього вибуху.

3.2.3. Система «НОНЕЛЬ»

Усі сучасні неелектричні системи ініціювання повністю безпечні до різного роду електромагнітних наведень, при цьому вони дозволяють створювати схеми підривання зарядів з практично необмеженими можливостями управління процесами руйнування масивів гірських порід.

Основним елементом системи «Нонель» є порожнистий пластиковий шнур-хвилевід, внутрішня поверхня якого вкрита тонким шаром вибухової суміші. При ініціюванні повітряна ударна хвиля поширюється по каналу шнура зі

швидкістю 2 км/с. Вона передає енергію, якої достатньо для ініціювання КД, закріпленого на одному з кінців шнура-хвилеводу (рис. 3.6).

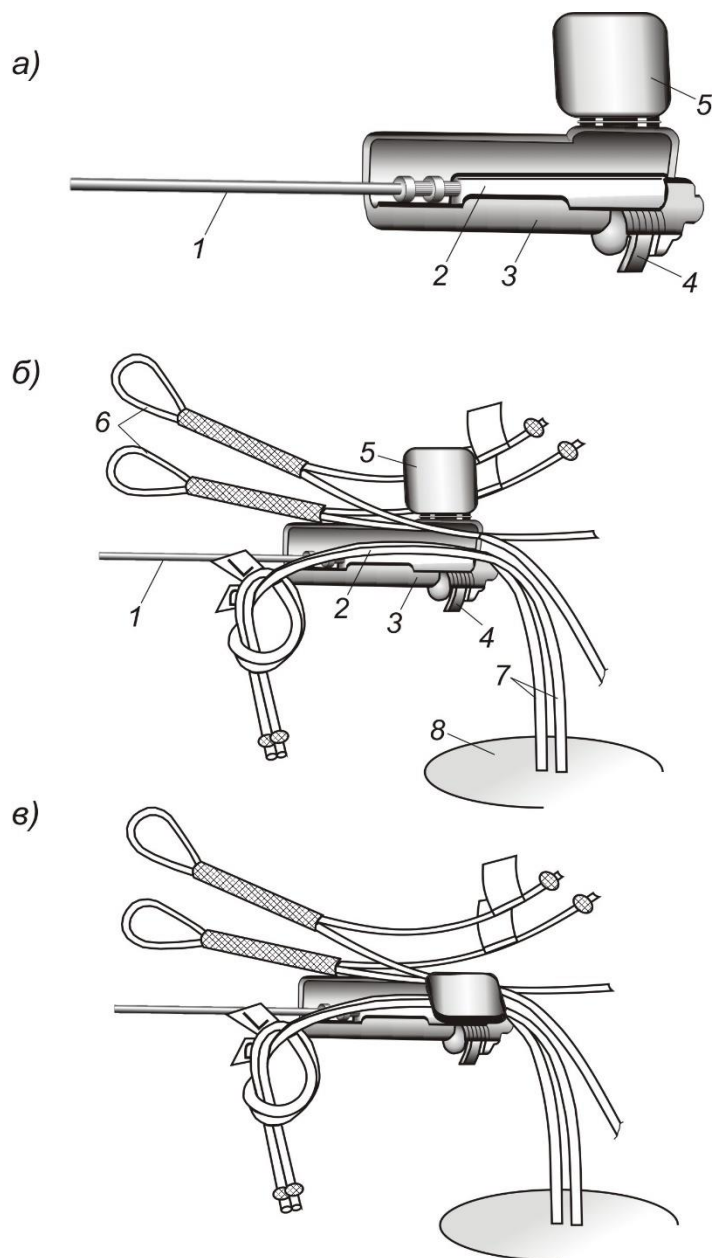


Рис. 3.6. З'єднувальний блок і послідовність його монтажу в системі «Нонель»:
 а) загальний вигляд з'єднувального блоку; б) підключення шнурів-хвилеводів до з'єднувального блоку; в) з'єднувальний блок у зборці з чотирма шнурами-хвилеводами

1 – шнур-хвилевід; 2 – неелектричний капсуль-детонатор; 3 – з'єднувальний блок; 4 – заслінка; 5 – кришка; 6 – вивідні шнури для підключення до свердловинних зарядів; 7 – внутрішньосвердловинний шнур «Нонель» для уповільненого підривання зарядів ВР; 8 – свердловина

Шнур «Нонель», виконаний у вигляді пластикової трубки (зовнішній діаметр 3 мм, внутрішній – 1,5 мм), не має вибухових властивостей, він ні за яких умов не збуджує детонацію ні в одній з ВР, які використовуються на практиці. Шнур не вибухає ні від удару, ні від впливу вогню. При передачі ударної хвилі він не руйнується, виконуючи роль тільки лише провідника сигналу.

Шнури серії HD мають підвищену міцність на розрив, зносостійкість і зберігають свою працездатність до температури +50°C. КД «Нонель» являє собою алюмінієву гільзу, у середині якої знаходиться чутлива до вогню первинна ініціююча ВР, що викликає детонацію у вторинній бризантній ВР.

Переваги «Нонель»:

- несприйнятливість до дії блукаючих струмів, електростатичних зарядів і електромагнітних полів у діапазоні різних частот;
- підвищення продуктивності внаслідок прискорення підготовки вибуху;
- зниження вартості підривних робіт;
- висока надійність.

Недоліки «Нонель»:

- неможливість перевірки цілісності підривної мережі;
- багатоелементність.

Неелектрична система «Нонель» призначена для відкритих і підземних підривних робіт, у тому числі й в умовах шахт, небезпечних за вибухом газу або пилу.

3.2.4. Система «ОПСІН»

Експериментальний зразок системи оптичного ініціювання «ОПСІН» створений у 1993 р. в Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» (автори В.В. Соколов, А.В. Чернай). Це був перший у світовій практиці зразок системи, у якому як первинні ВР використовувалась ініціююча ВР нового класу, що характеризується аномально високою чутливістю до дії лазерного імпульсу випромінювання.

У системі «ОПСІН» (рис. 3.9) передача енергії від лазера до оптичних детонаторів може здійснюватися в режимі передачі лазерного випромінювання по світловолоконних кабелях (світловодах) або безпосередньо через повітряну атмосферу на поверхню світлочутливої ВР, яка нанесена на об'єкт, що підривається.



Рис. 3.7. Елементи системи «Нонель»

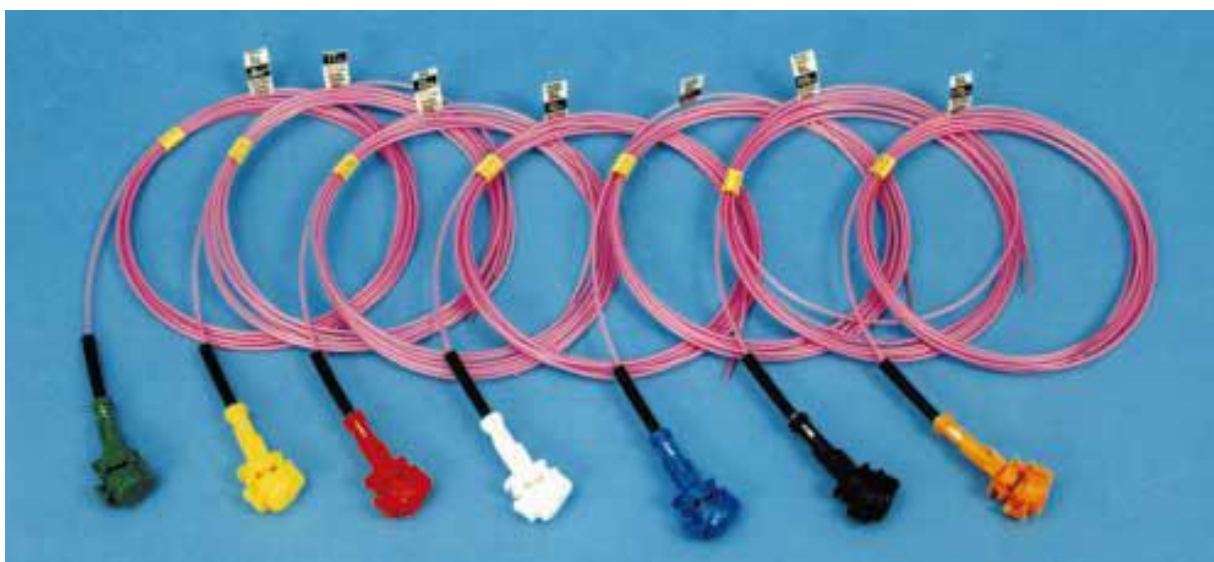


Рис. 3.8. З'єднувачі залежно від кольору характеризуються різним часом затримки, мс: зелений – 0 (номінально 1,75); жовтий – 17; червоний – 25; білий – 42; блакитний – 67; чорний – 109; помаранчевий – 175

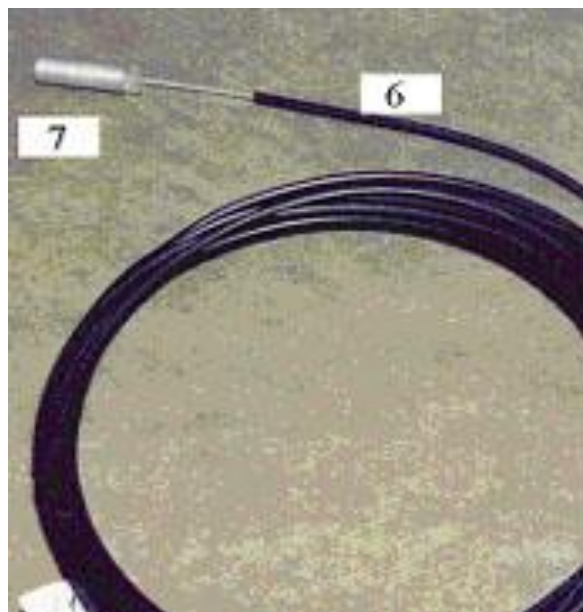
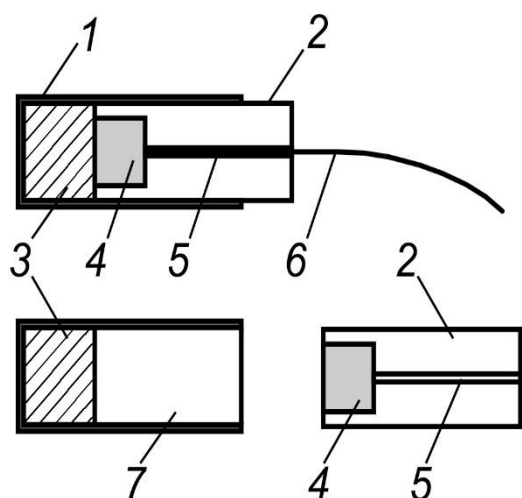


Рис. 3.9. Схема пристрою оптичного детонатора (ОД):

1 – алюмінієва трубка; 2 – втулка; 3 – вторинна ініціююча ВР;

4 – стакан з первинною ініціюючою ВР (світлочутлива ВР);

5 – канал для встановлення світловода; 6 – світловод; 7 – піропатрон

Сфера застосування нової прецизійної системи «ОПСІН»: виробництво масових вибухів шпурових і свердловинних зарядів, зварювання, гравірування, компактування вибухом; зміцнення виробів зі складним рельєфом поверхонь; вибухові роботи в обмежених умовах міст, виробничих підприємств та ін. Отримані профільовані детонаційні хвилі (плоскі, сферичні, циліндричні та ін.), які неможливо реалізувати при використанні традиційних засобів ініціювання. Випробування конструкцій корпусів ракет на предмет стійкості до імпульсного впливу рентгенівських і ультрафіолетових випромінювань бойових лазерів і т. д.

Система гарантує особливо високі рівні безпеки і точності управління багатозарядним підриванням.

Високий рівень безпеки зумовлений використанням спеціальних вибухових складів (ВС), високочутливих до дії характерного імпульсу лазерного випромінювання і маючих низьку чутливість до механічних і теплових впливів.

Висока точність управління забезпечується за рахунок:

- короткого часу затримки спрацьовування ВС ($\leq 10^{-6}$ с);

- програмованого керування роботою окремих каналів лазерного пристрою, що забезпечує подачу лазерної енергії в локальні ділянки оптоволоконної кабельної мережі;
- перевірки цілісності оптоволоконної мережі перед підриванням за рахунок вимірювання рівня лазерного випромінювання малої потужності відбитого від поверхні високочутливого вибухового складу ОД.

3.2.5. Система «Прима-ЕРА»

Враховуючи недоліки традиційних засобів ініціювання ВР Науково-дослідним інститутом високоенергетичних матеріалів (НДІ ВЕМ) Державного підприємства «Науково-виробниче об'єднання «Павлоградський хімічний завод»» (ДП НВО «ПХЗ») розроблена неелектрична система ініціювання (НСІ) «Прима-ЕРА».

Система «Прима-ЕРА» є водостійкою з підвищеною безпекою у застосуванні, призначена для ініціювання проміжних детонаторів і патронів-бойовиків під час проведення підривних робіт на денній поверхні, у вибоях підземних виробок (рудниках і шахтах, безпечних за вибухом газу і пилу), при будівництві тунелів, а також під водою. Дозволяє створювати схеми миттєвого та уповільненої підривання з широким діапазоном інтервалів уповільнення. Основні дані про систему наведені в табл. 3.2.

На замовлення споживача НСІ «Прима-ЕРА» може комплектуватися різними типами елементів: Прима-ЕРА-С з'єднувач (конектор), Прима-ЕРА-Д детонатор, Прима-ЕРА-СД подвійна, Прима-ЕРА-Т (Прима-ЕРА-ТМ) тунельна.

Прима-ЕРА-С (рис. 3.10) – з'єднувач (конектор) поверхневий, являє собою комплект, що складається з капсуль-детонатора № 6 зі стандартними інтервалами уповільнення 0, 9, 25, 42, 67, 109 і 176 мс і хвилеводу. Система призначена для передачі й розподілу ініціюючого імпульсу при веденні підривних робіт на денній поверхні, на відкритих гірничих розробках.

Конструкція пластикового конектора дозволяє здійснювати комутацію до шести хвилеводів, а також при необхідності проводити перекомутацію мережі, виконувати роботи в зимовий час і не допускати руйнування поверхневого комутуючого ланцюга.

Характеристики НСІ «Прима-ЕРА»

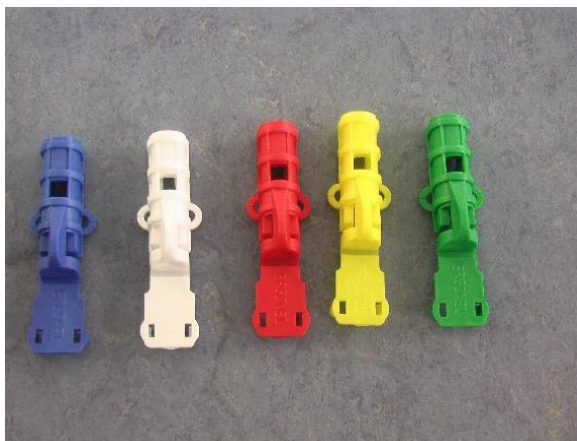
Найменування показника	Значення показника
1. Довжина хвилеводу, м	*
2. Водостійкість при температурі $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, на добу: – елементів Прима-ЕРА-Д, Прима-ЕРА-СД, Прима-ЕРА-Т при тиску 0,4 МПа; – елементів Прима-ЕРА-С на глибині 0,5 м	7, не менше
3. Стійкість до вібронавантаження при амплітуді коливань $(5 - 10)$ мм з частотою 50 Гц, хв	10, не менше
4. Термостійкість, годин: а) елементів Прима-ЕРА-Д, Прима-ЕРА-СД, Прима-ЕРА-Т до температурного впливу; – мінус $(35 \pm 5) ^\circ\text{C}$ і плюс $(75 \pm 5) ^\circ\text{C}$; – плюс $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$; б) елементів Прима-ЕРА-С до температурного впливу мінус $(35 \pm 5) ^\circ\text{C}$	48, не менше 1, не менше 48, не менше
5. Сприйнятливість до ініціювання імпульсу	Повна
6. Ініціююча здатність, що забезпечує передачу імпульсу від КД № 6 до шести хвилеводів	Повна
7. Стійкість до статичного розтягуючого навантаження 5 кгс, яке прикладене до з'єднання хвилеводу з КД, при температурі $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, с	120, не менше *
8. Час уповільнення системи, мс	**
9. Стійкість до дії агресивних середовищ, діб: – дизельне паливо, індустриальне масло; – розчин аміачної селітри (67 %)	14, не менше 35, не менше
* Допускається стійкість до статичного розтягуючого навантаження, яке прикладене до з'єднання хвилевід-КД № 6 елементів Прима-ЕРА-С, Прима-ЕРА-СД – 4 кгс. ** Час уповільнення системи відповідає часу уповільнення КД і часу уповільнення хвилеводу, при цьому кожен метр хвилеводу збільшує час уповільнення системи на 0,53 мс.	

«Прима-ЕРА-Д». Елемент НСІ «Прима-ЕРА-Д» (рис. 3.11, 3.12) – детонатор внутрішньосвердловинний. Призначений для ініціювання проміжних детонаторів і патронів-бойовиків при підриванні внутрішньосвердловинних зарядів. Являє собою комплект, що складається з капсуль-детонатора № 8 з часом уповільнення від 0 до 400 мс з інтервалом 100 мс і з уповільненням від 400 до 500 мс з інтервалом 25 мс, трубки хвилеводу, ущільнювальної втулки і відрізка хвиле-

воду певної довжини (від 2 м і більше) жовтого кольору. Призначений для ініціювання проміжних детонаторів і патронів-бойовиків при підриванні свердловинних і шпурових зарядів.



Хвилевід «Прима-ЕРА-С»



Конектори

Час уповільнення КД, мс	Колір конектора
0	зелений
9	коричневий
17	жовтий
25	червоний
42	білий
67	синій
109	чорний
176	помаранчевий

Рис. 3.10. Елементи системи «Прима-ЕРА-С»

«Прима-ЕРА-С» і «Прима-ЕРА-Д» призначені для спільного використання при комутації підривної мережі при веденні підривних робіт на денній поверхні.

«Прима-ЕРА-СД» подвійної дії (рис. 3.13) являє собою комплект, що складається з КД № 6 з уповільненням аналогічно «Прима-ЕРА-С», оснащеного з'єднувачем (конектором) відповідного кольору і КД № 8 із забарвленням аналогічно «Прима-ЕРА-Д», з'єднаних між собою хвилеводом. Кінець системи з КД № 8 використовується всередині свердловини, а кінець системи з КД № 6 за допомогою конектора з'єднується з наступним хвилеводом системи для комутації підривної мережі.



Рис. 3.11. Хвилевід «Прима-ЕРА-Д»

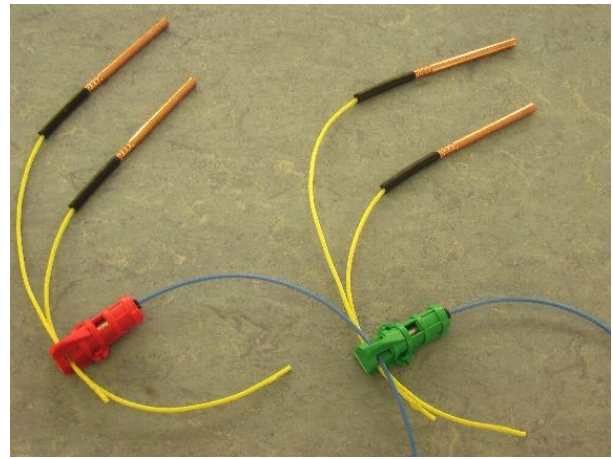


Рис. 3.12. Схема комутації підривної мережі при використанні елементів «Прима-ЕРА-С» і «Прима-ЕРА-Д»

Прима-ЕРА-Т тунельна (рис. 3.14) являє собою комплект, що складається з КД № 8 з уповільненням від 100 до 400 мс з інтервалом 100 мс, від 400 до 500 мс з інтервалом 25 мс, від 500 до 6000 мс з інтервалом 500 мс, від 6000 до 9000 мс з інтервалом 1000 мс і хвилеводом. Система призначена для ведення підривних робіт у підземних гірничих виробках, безпечних за вибухом газу і пилу.



Рис. 3.13. Елемент СНІ «Прима-ЕРА-СД»



Рис. 3.14. Елемент СНІ – «Прима-ЕРА-Т» та «Прима-ЕРА-ТМ»

Хвилевід системи «Прима-ЕРА» призначений для передачі детонаційної хвилі від ініціюючого пристрою до капсуль-детонатора та являє собою порожню пластикову трубку блакитного, жовтого або помаранчевого кольору із зовнішнім діаметром $(3,00 \pm 0,15)$ мм. На внутрішню поверхню трубки нанесена активна речовина масою 20 мг/п.м довжини, при цьому швидкість передачі імпульсу зростає до 2000 м/с.

Структура хвилеводу забезпечує йому міцність при лінійних навантаженнях до 120 кг. При деформації в 200 % зберігається стабільність хвилеводу до передачі ініціюючого імпульсу. Ця здатність хвилеводу зберігається і в разі неодноразового його перегину і зав'язування тугим вузлом.

Збудження ініціюючого імпульсу в хвилеводі може здійснюватися від стандартних капсуль-детонаторів типу КД № 6, КД № 8, електродетонаторів, детонувальних шнурів з навіскою не менше 6 г/м, а також від високоенергетичної іскри потужністю не менше 5 Дж (рис. 3.15 та 3.16).

Для ініціювання промислових вибухових речовин у свердловинах і шпурах застосовуються проміжні детонатори і патрони-бойовики, що зібрані з НСІ. У ролі детонаторів і патронів-бойовиків можуть використовуватися двоканальні шашки-детонатори типу «Т», «ТГ», а також одноканальні шашки-детонатори типу Т-400Г, патрони амоніту № 6ЖВ і патроновані емульсійні ВР.

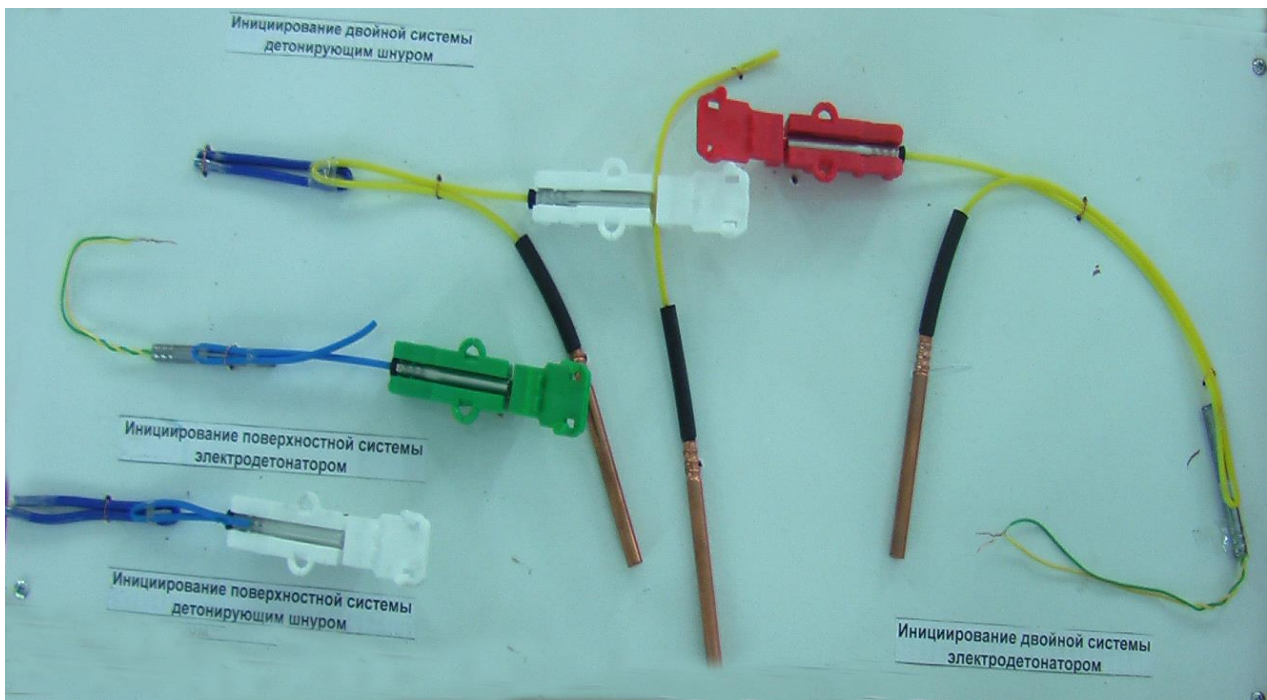


Рис. 3.15. Схеми ініціювання хвильоводів

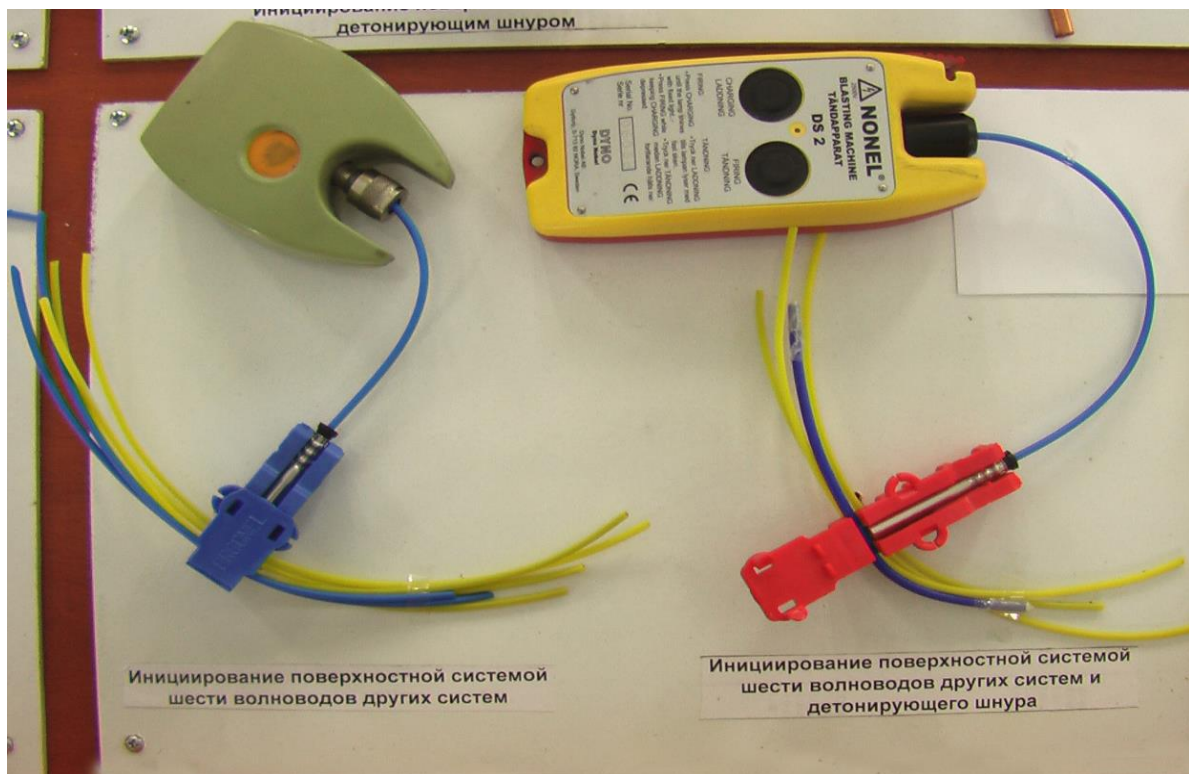


Рис. 3.16. Різні пристрої для ініціювання хвильоводів

НСІ «Прима-ЕРА» на відміну від традиційних засобів ініціювання, що використовуються, гарантує підвищену безпеку. Завдяки низькій чутливості до

блукаючих струмів, вона дозволяє виконувати підривні роботи без знеструмлення енергетичного обладнання. Перевагами НСІ «Прима-ЕРА» є низька чутливість до механічних впливів, простота і надійність монтажу підривної мережі, підвищена безпека при зберіганні, транспортуванні та використанні.

НСІ «Прима-ЕРА» дозволяє створювати схеми короткоуповільненого підривання зарядів з практично необмеженими можливостями управління процесами руйнування масивів гірських порід, ефективно знижувати сейсмічну і повітряно-ударну дію вибуху й одночасно поліпшує результати підривних робіт.

При ініціюванні щодо нечутливих вибухових речовин, таких як емульсійні ВР, детонувальний шнур може сприяти небажаному ущільненню і випалюванню вибухових речовин, що знижує ефективність їх застосування. На відміну від детонувального шнура НСІ не руйнує і не ущільнює ЕВР, відповідно використання НСІ дозволяє значно підвищити ефективність їх застосування.

У результаті спільної роботи фахівців «Кривбасвибухпром» з фахівцями неелектричної системи ініціювання «Прима-ЕРА» система ДП НВО «ПХЗ» отримала широке застосування – близько 95 % від усього обсягу виконання підривних робіт.

3.2.6. Підривні роботи із застосуванням НСІ

Поводження з НСІ повинно здійснюватися відповідно до вимог ТУ на них та інструкцій заводів-виробників щодо їхнього застосування. У цьому разі необхідно забезпечувати надійне з'єднання елементів системи та вживати заходів щодо недопущення пошкодження хвилеводів і КД.

Забороняється застосовувати комплекти НСІ, що мають зім'яття, корозію, тріщини на боковій і донній поверхнях КД, тріщини, прорізи, проколи на хвилеводах або незагерметизовані кінці хвилеводів. Перед застосуванням комплекти НСІ необхідно перевіряти на наявність цих дефектів.

Довжину хвилеводів необхідно обирати з урахуванням глибини шпуру або свердловини, глибини розміщення ПБ у заряді та відстані між зарядами. Мінімально допустима довжина активної ділянки хвилеводу (відстань від місця ініціювання до КД) має бути не менше ніж 60 см.

Фактичне сповільнення між вибухами суміжних груп зарядів необхідно визначати, враховуючи сповільнення поверхневих КД і довжину поверхневих хвилеводів між групами зарядів.

Поверхневі з'єднувачі хвилеводів необхідно розміщувати поблизу свердловин, а самі хвилеводи – закріплювати біля устя свердловин до закінчення заряджання та забивання зарядів.

Для запобігання вилучення хвилеводів з поверхневих з'єднувачів вільні кінці хвилеводів, що виходять з поверхневих з'єднувачів, необхідно зав'язувати простими вузлами. Довжина цієї (пасивної) ділянки хвилеводу повинна бути не менше ніж 8 см.

Під час монтування підривної мережі хвилеводи забороняється натягувати.

Не можна наступати на хвилеводи змонтованої підривної мережі або наїжджати на них транспортними засобами.

У разі застосування у поверхневій мережі ДШ хвилеводи повинні торкатися шнура тільки в точках ініціювання, а сам ДШ необхідно натягувати та розміщувати не ближче ніж на 100 см від хвилеводів.

З'єднання ДШ з хвилеводом необхідно виконувати за допомогою з'єднувача або з'єднувати ДШ прямим вузлом.

Ініціувальний елемент (ДШ, ЕД, КД) поверхневої мережі повинен торкатися всіх хвилеводів у місці ініціювання, щоб забезпечити надійність їхнього спрацювання.

Місця з'єднання хвилеводів з ЕД і КД необхідно надійно фіксувати.

Елементи НСІ, що не відповідають вимогам ТУ, підлягають знищенню відповідно до вимог НПАОП 0.00-6.03-06.

Перед знищенням необхідно відрізати бухту (кільце) хвилеводу на відстані не менше ніж 3 мм від КД. Хвилеводи необхідно спалювати на відкритих майданчиках, а КД – знищувати вибухом у встановленому порядку.

Виготовляти ПБ із застосуванням НСІ треба відповідно до вимог ТУ на НСІ або інструкції з експлуатації.

Невикористані патрони-бойовики підлягають знищенню підіриванням у порядку, що встановлений керівником суб'єкта господарювання.

3.3. Комбіновані способи підривання

3.3.1. Електровогневе ініціювання зарядів ВР

Електровогневе ініціювання застосовують замість вогневого способу в тому випадку, коли своєчасний відхід підривників в укриття утруднений за будь-яких причин.

Підпалювання відрізків ВШ здійснюється підривником з безпечного місця подачі електричного струму на електрозапалювальний пристрій, що закріплений на кінці ВШ.

Електрозапалювальний патрон ЕЗ-ВШ-Б (рис. 3.17, а) складається з паперової гільзи із запалювальною сумішшю та електрозапальника.

Електрозапалювальний патрон ЕЗП-Б (рис. 3.17, б) призначений для запалювання кількох відрізків ВШ в сухих і зволжених умовах. Відрізки ВШ вводять у патрон і закріплюють шляхом обтиску гумовим кільцем на гільзі патрона.

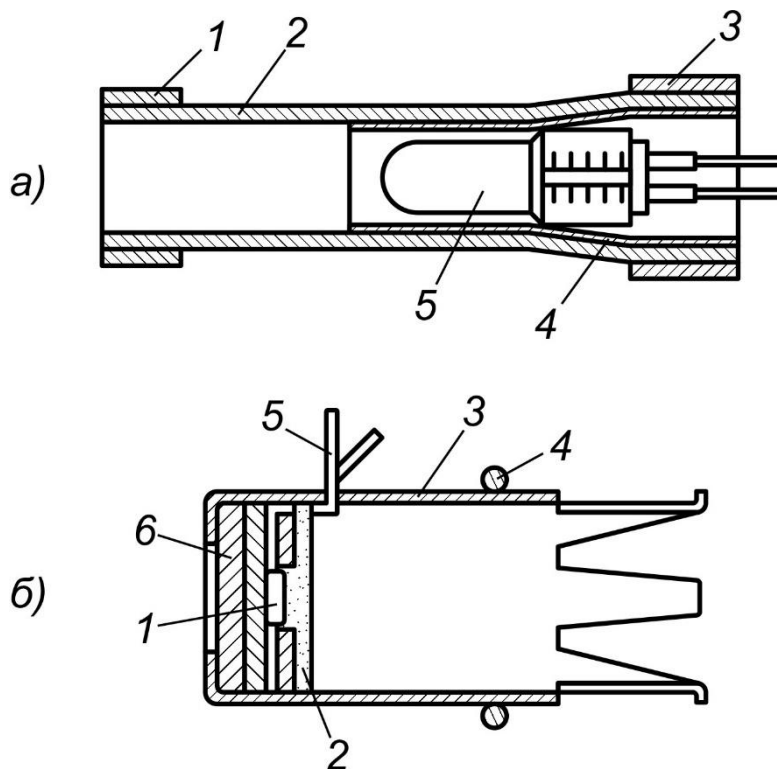


Рис. 3.17. Конструкції електрозапалювальних патронів:

а – патрон ЕЗ-ВШ-Б: 1, 3 – з'єднувальні металеві втулки;

2 – паперова (металева) гільза; 4 – паперова втулка; 5 – електрозапальник;

б – патрон ЕЗП-Б: 1 – електрозапальник; 2 – запальна суміш; 3 – паперова гільза з вирізами; 4 – гумове кільце; 5 – вивідні дроти; 6 – вставне дно гільзи

Під час використання електрозапалювальних патронів кінці вогнепровідних шнурів слід підрізати для створення необхідних інтервалів між зарядами, що вибухають. Мінімальна довжина ВШ повинна бути не менше 25 см.

Вогневе й електровогневе підривання зарядів забороняється застосовувати в вугільних шахтах, а також рудниках, небезпечних за вибухом газу і (або) пилу.

Забороняється вогневе підривання зарядів у вертикальних і похилих (більше 30°) виробках, а також у тих випадках, коли своєчасний відхід підривників (майстрів-підривників) утруднений.

При вогневому підриванні зарядів підпалювання запальних трубок повинно проводитися одним підривником (майстром-підривником).

Забороняється підривання більше 16 зарядів за один прийом, а при застосуванні запальних патронів – більше 10 за один прийом на вибій.

Підривник повинен рахувати заряди, що вибухнули. Якщо виконати цю вимогу неможливо або який-небудь заряд не вибухнув, підходити до місця підривання дозволяється не раніше ніж через 15 хвилин після останнього вибуху.

У разі відсутності відмов дозволяється підходити до місця вибуху не раніше ніж через 5 хвилин після останнього вибуху.

3.3.2. Підривні роботи із застосуванням ДШ

Детонувальний шнур призначений для передачі детонації від КД або ЕД до заряду ВР і від заряду до заряду на необхідні відстані.

На рис. 3.18 показані елементи ДШ. Серцевину ДШ виготовляють з ТЕНу з напрямними нитками або без них і покривають переплетенням з льняних і бавовняних ниток. Для підвищення водостійкості зовнішні обплетення шнура покривають воском або озокеритом. Шнур для підводного підривання додатково прокривають поліхлорвініловою оболонкою.

Всі шнури стійко детонують від КД або ЕД до температури +55°С, а при охолодженні протягом 2 годин – до температури –35°С.

Для створення необхідних уповільнень між зарядами, що вибухають, використовують піротехнічні уповільнювачі детонувального шнура КУДШ-69, що передбачають уповільнення в 10, 20, 35, 50, 75 та 100 мс.

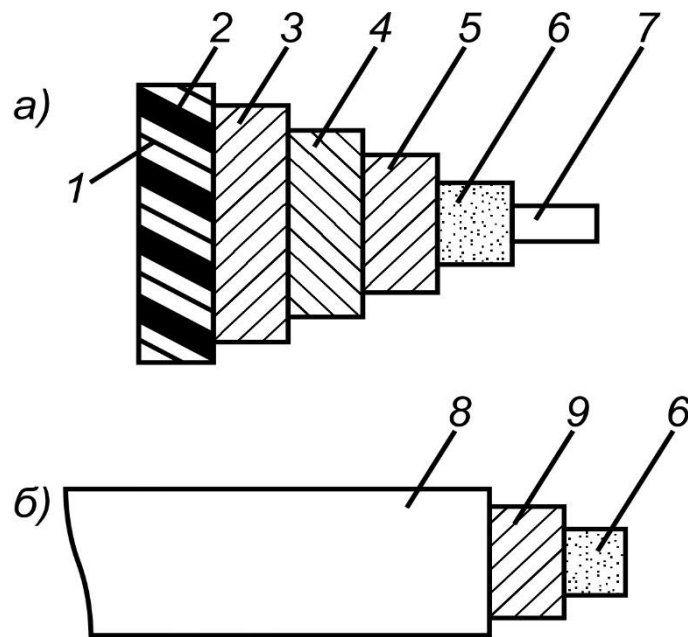


Рис. 3.18. Детонувальні шнури ДША (а) і ДШВ (б):

- 1 – зовнішнє обплетення з двома червоними нитками 2; 3, 4 – лляні обплетення;
 5 – бавовняне обплетення; 6 – ТЕН; 7 – напрямна нитка;
 8 – поліетиленова оболонка; 9 – армувальні капронові нитки

Уповільнювач КУДШ-69 для створення необхідних уповільнень включають у розрив нитки ДШ. ***Слід пам'ятати, що детонацію уповільнювач передає тільки в одному напрямку, який показано стрілкою на його корпусі.***

У Росії розпочато випуск уповільнювачів РП-8 двостороннього типу з двома детонаторами й уповільнювачами, розгорнутими на 180°. Уповільнювач зручно монтувати в розрив мережі ДШ за допомогою поліетиленових затискачів, що передбачено у конструкції РП-8.

З досвіду підривних робіт, які проводилися в США, Швеції, Росії, Іспанії та інших країнах, детонувальні шнури успішно застосовуються в таких умовах:

- потенційної небезпеки виникнення блукаючих струмів;
- одночасного ініціювання груп зарядів ВР без істотних уповільнень у спрацьовуванні окремих зарядів;
- багаторядного або багатоярусного ініціювання зарядів ВР в глибоких свердловинах великого діаметра;
- дублювання електричної системи ініціювання в важких умовах – в глибоких свердловинах, що пробурені в тріщинуватих породах;

- ініціювання зарядів ВР під час вторинного підривання негабаритних шматків у рудоспусках і т. д.

Технологія підривання за допомогою ДШ

Для підривання за допомогою ДШ необхідно:

- розрізати шнур на відрізки для виготовлення патронів-бойовиків;
- виготовити патрони-бойовики;
- подати попереджувальний сигнал, виконати зарядження і забійку зарядів;
- виконати монтаж мережі ДШ;
- подати бойовий сигнал, приєднати до магістралі КУДШ (РП-8), КД або ЕД і зробити вибух;
- після вибуху оглянути вибій;
- при наявності відмов ліквідувати їх і подати сигнал відбою.

Відрізки ДШ між собою з'єднують внакладку або внакрутку на довжині не менше 100 мм (рис. 3.19). Шнури закріплюють ізоляційною стрічкою, шпагатом або скотчем. Найбільш надійним способом нарощування ДШ є їх зв'язування морським вузлом або петлею.

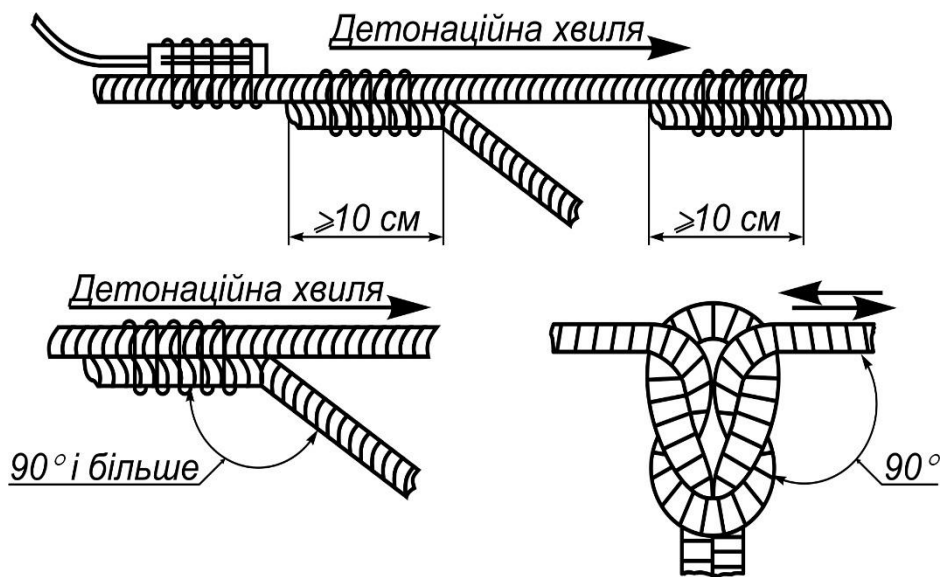


Рис. 3.19. Основні способи з'єднання детонувальних шнурів при монтажі підривної мережі

Для більш високої надійності застосовують дублювання ниток ДШ. При цьому дублюючі та основні мережі ініціюють одним детонатором.

Переваги підривання за допомогою ДШ:

- мінімальна небезпека заряджання й особливо ліквідації відмов і простота їх виконання.

Недоліки підривання за допомогою ДШ:

- відсутність приладового контролю справності мережі перед вибухом і висока вартість ДШ.

Поводження з ДШ (різання, з'єднання з піротехнічним реле тощо) повинно виконуватися способами, зазначеними в інструкціях (керівництвах) заводів-виробників з його застосування.

Необхідність дублювання внутрішньосвердловинної та поверхневої мереж визначається на стадії розробки паспорта проведення МВ або проекту ведення спеціальних підривних робіт.

Підривання основної та дублюючої мереж ДШ повинно проводитися від одного ініціатора.

ДШ можуть використовуватися в комплексі з іншими засобами ініціювання, якщо дозволяється ТУ на ці засоби, відповідно до вимог інструкції, розробленої та затвердженої суб'єктом господарювання, що здійснює підривні роботи.

У табл. 3.3 наведені неелектричні засоби ініціювання зарядів ВР й електрозапальні пристрої, що застосовуються на відкритих і підземних гірничих роботах у шахтах і рудниках, безпечних за вибухом газу і пилу.

Таблиця 3.3

Неелектричні засоби ініціювання зарядів ВР

Найменування засобів ініціювання	Тип	Примітки
Детонувальний шнур	ДШ-А	У нитяній оболонці, асфальтований
Детонувальний шнур	ДШЕ-12	Оболонка з композиції поліетилену
Реле піротехнічне	РП-92-0	
Капсуль-детонатор	КД-8С	
Детонатор електровогневий	ДЕВ	Інтервал уповільнення 5...60 с
Детонатор вогневої дії	ДВД	Інтервал уповільнення 100...300 с
Електрозапальник ВШ	ЕЗ-ВШ-М	
Запальний патрон ВШ	ЭП-Б	
Вогнепровідний шнур	ВША	Асфальтований (з 1996 р. замінює ВШП) в пластмасовій оболонці

Питання для самоконтролю знань

1. У чому полягає принцип роботи способу підривання зарядів ВР за допомогою електродетонаторів?
2. За якими параметрами розрізняють електродетонатори?
3. Що таке гарантійний струм?
4. Основні вимоги, що висуваються «Правилами безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» при підриванні з використанням електродетонаторів.
5. Конструкція електродетонатора миттєвої дії.
6. Конструкція електродетонатора короткоуповільненої дії.
7. Конструкція електродетонатора уповільненої дії.
8. Технологія електричного способу підривання.
9. Послідовність операцій при виготовленні патрона-бойовика.
10. Які переваги електричного способу підривання.
11. Наведіть недоліки електричного способу підривання.
12. Спосіб вогневого ініціювання зарядів ВР. Наведіть характеристику основних елементів цього способу.
13. Конструкція капсуль-детонатора.
14. Конструкція вогнепровідного шнура.
15. Конструкція запального патрона.
16. Основні параметри системи «Нонель».
17. Переваги і недоліки системи «Нонель».
18. У чому суть електровогневого підривання зарядів ВР?
19. Конструкція електрозапального патрона.
20. Будова детонувального шнура.
21. Основні схеми з'єднання ДШ.
22. Переваги і недоліки підривання за допомогою ДШ.
23. Назвіть вимоги, що висуваються до електропідривної мережі.
24. Сформулюйте основні правила монтажу електропідривної мережі.
25. На якій відстані розміщується постійна вибухова магістраль?
26. Які застосовують заходи захисту від блукаючих струмів?
27. Дії підричника в разі, якщо вибух зарядів не відбувся.
28. Яку довжину ВШ вибирають у запальних трубках?

29. Які відомі вам правила виготовлення запалювальних і контрольних трубок?
30. Яке існує правило допуску людей до місця вибуху?
31. Яким чином здійснюється з'єднання ВШ з КД?
32. Як ВШ закріплюється в паперових гільзах КД?
33. Чи можна використовувати ДШ з іншими засобами ініціювання?
34. Які комплекти НСІ забороняється застосовувати?
35. Вимоги до вибору хвилеводу.
36. Які вимоги висуваються до знищення хвилеводів і КД?
37. Основні вимоги до виготовлення ПБ.

Список рекомендованої літератури

1. Лурье А.И. Электрическое взрывание зарядов / А.И. Лурье. – Москва: Недра, 1973. – 267 с.
2. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л. Барон, В.Х. Кантор. – Москва: Недра, 1989. – 376 с.
3. Хайт А. Взрывные работы на шахтах Англии / А. Хайт. – Москва: Углетехиздат, 1956. – 232 с.
4. Густафссон Р. Шведская техника взрывных работ / Р. Густафссон. – Москва: Недра, 1977. – 264 с.
5. Граевский М.М. Справочник по электрическому взрыванию зарядов / М.М. Граевский. – Москва: Недра, 1983. – 254 с.
6. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахареvич, А.И. Романов. – Москва: Недра, 1988. – 358 с.
7. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом / Б.Н. Кутузов. – Москва: МГИ, 1992. – 516 с.
8. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13 : затв. М-вом енергетики та вугіл. пром-сті України 12.06.2013. – Луганськ : ЛЕТЦ, 2013. – 194 с.
9. Зажигание взрывчатых веществ импульсным лазерным излучением / А.В. Чернай, В.В. Соболев, В.А. Чернай, М.А. Илюшин, Ю.П. Бунчук // Физика импульсной обработки материалов. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 2003. – С. 267–314.

4. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЗАПОБІЖНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

У розділі наведено особливості вибуху суміші метану з повітрям та вибуху вугільного пилу, принципи побудови запобіжних вибухових речовин та перспективи їх розвитку, методи випробування запобіжних вибухових речовин.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти:

- описувати механізм проходження вибухової реакції суміші метану з повітрям та вибуху вугільного пилу;*
- характеризувати принципи побудови запобіжних вибухових речовин;*
- визначати методи випробування запобіжних вибухових речовин.*

Використання чорного пороху в шахтах і рудниках було поширеним до середини ХІХ сторіччя, поки не з'явилися основні компоненти сучасних промислових ВР. Коли ж у вугільних шахтах стали застосовувати динаміт (винайдений А. Нобелем в 1867 р.), одразу з'ясувалося, що динаміти порівняно із чорним порохом є більш безпечними ВР. Однак подальший досвід використання динаміту показував, що і ця ВР може запалювати пило- та метаноповітряні суміші. Було встановлено, що для займання метаноповітряної суміші (МПС) досить у ній підірвати 1 г чорного пороху або декілька грам динаміту.

У зв'язку з ростом аварій у вугільних шахтах, викликаних запаленням і вибухом МПС і пилоповітряних сумішей (ППС) при використанні ВР, у деяких країнах були створені спеціальні комісії з метою вивчення причин займання шахтного повітря та розробки заходів і способів боротьби з цим явищем.

Уявлення про механізм теплового прискорення хімічних реакцій в умовах виникнення вибуху були створені Вант-Гоффом у 1884 р. Приблизно в ці ж самі роки Малляр і Ле-Шательє вивчали процес займання сумішей деяких горючих газів з повітрям. При проведенні досліджень ними було відкрито явище затримки запалення, найбільш характерне для МПС. Завдяки цьому відкриттю вдалося науково обґрунтувати можливість застосування ВР у шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу.

Малляр і Ле-Шательє припустили, що дія вибуху заряду ВР на МПС наперед залежить від температури продуктів вибуху. За їх твердженням, займання МПС гарантовано відбудеться, якщо температура продуктів вибуху (ПВ) перевищить 2200°C, а за температур нижчих ніж температура спалаху (650°C) займання МПС не станеться. Якщо температура ПВ буде відповідати величині,

що лежить в діапазоні від 2200 до 650°C, займання може відбутися або не відбутися, залежно від того, чи встигнуть ПВ охолотитися нижче температури спалаху за час менший, ніж час затримки спалаху, що відповідає даній температурі. Викладені міркування стали основою першої антигризутної (термічної) гіпотези.

Французька антигризутна комісія на підставі результатів робіт Малляра і Ле-Шательє прийняла рішення, що ВР, які використовуються при підричних роботах у суто породних масивах, повинні мати температуру вибуху не більше 1900°C, а при підричних роботах у вугільних вибоях – не більше 1500°C.

На практиці, однак, виявилось, що вибухи МПС можуть відбуватися навіть при температурі спалаху і нижче (650°C) при підриванні зарядів із збільшеною масою ВР, що в свою чергу спричинене повільним охолодженням ПВ і збільшенням часу дії високої температури на газову суміш. З'явилося поняття граничного заряду, перевищення маси якого викликає запалення газової суміші. Оскільки розрахункових методів визначення граничної маси заряду ВР не існувало, у багатьох країнах було вирішено проводити оцінки в дослідних штреках, відтворюючи найбільш небезпечні умови, які можуть мати місце при підричних роботах у вугільних шахтах.

Накопичений експериментальний матеріал, розроблений академіком М.М. Семеновим, теорія теплового самозаймання, уявлення про ланцюгові реакції і досвід ведення підричних робіт у цілому стали підставою для розробки нового механізму займання МПС. Зокрема, передбачалося, що основними джерелами займання МПС можуть бути ударна хвиля, палаючі або нагріті до високої температури частинки, високотемпературні газоподібні продукти вибуху.

Французький дослідник Е. Одібер, проводячи експерименти із займанням МПС, установив, що при вільному падінні частинок піску, нагрітих до температури 900...1100°C, в МПС спостерігалось займання. У зв'язку з отриманими результатами Е. Одібер припустив, що займання викликається твердими нагрітими частинками. Ця гіпотеза була розвинена К. Бейлінгом, який проводив дослідження і в дослідній шахті. Він запропонував розглядати чотири фактори: ударну хвилю, хвилю стиску, газоподібні продукти вибуху і тверді частинки. Непереконаливість наведених ним доказів на користь механізму займання палаючими частинками, ймовірно, стала причиною, через яку уявлення Бейлінга не тільки не отримали широкої підтримки, але й досі викликають ряд серйозних сумнівів.

Істотний внесок у розвиток уявлень про механізм займання МПС зробив Є. Одібер, припустивши, що займання залежить від загальної енергії ПВ або від питомої енергії, що припадає на один моль газоподібних продуктів вибуху. Ось як він описував механізм процесу займання МПС: під час вибуху заряду ВР продукти вибуху, що мають високу температуру, змішуються з МПС (тому механізм іноді називають "механізмом запалення шляхом змішування"); якщо в процесі розведення ПВ метано-повітряною сумішшю буде досягнута температура спалаху, то станеться займання МПС. Одібер показав також, що ВР з позитивним або негативним кисневим балансом є небезпечними щодо займання метану. Найменш небезпечними ВР є ті, що мають нульовий кисневий баланс. Втім з накопленням досвіду та плином часу все більше виникало підстав для заперечення "механізму змішування".

Ф.М. Галаджій і Б.І. Вайнштейн (ДержМакНДІ) вважали, що займання вибухової газової суміші при стисненні її в ударній хвилі більш імовірно, ніж змішування МПС з ПВ, що швидко охолоджується. Це твердження засноване на експериментальних результатах.

4.1. Фізико-хімічні особливості вибуху суміші метану з повітрям

Відомо, що вибух суміші CH_4 з повітрям є найбільш потужним при вмісті в ній 9,46 % метану і 90,54 % повітря за обсягом. Вибухова реакція відбувається без зміни обсягу газів. Теплота вибуху ($Q_{\text{виб}}$), яка припадає на 1 кмоль МВС становить 18090 ккал, а на 1 м^3 – 806 ккал (як і під час вибуху 1 кг амоніту ПЖВ-20). При більшому вмісті метану або кисню вибух буде слабкіше, оскільки надмірний компонент, не беручи участі в хімічній реакції вибуху, поглинає частину теплоти вибуху на власне нагрівання. Межі вмісту метану, за якими суміш його з повітрям перестає горіти і вибухати, залежать від тиску – чим він більший, тим ширше ці межі, табл. 4.1.

Вибухонебезпечність характеризується **температурою спалаху** ($T_{\text{спл}}$) і **затримкою спалаху** ($\tau_{\text{спл}}$).

На чутливість МПС до нагрівання впливають домішки деяких газів і розпорошених твердих речовин. Відомо, наприклад, що підвищують чутливість до нагрівання CO , NO_2 , O_2 , а зменшують – CO_2 , N_2 , NaCl , KCl .

Спалах МПС відбувається із затримкою, яка залежить від температури нагрівання. Величина уповільнення (період індукції) з підвищенням температури зменшується, табл. 4.2.

Таблиця 4.1

Вибухонебезпечні межі вмісту метану в МПС

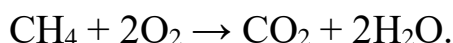
Тиск, атм	Межі вмісту метану, %
1	4,5 – 14,2
60	4 – 52,9
Більше 100	2 – 75

Таблиця 4.2

Затримка часу спалаху залежно від температури

Температура нагрівання МПС, °С	Затримка часу спалаху
650 (мінімальна температура спалаху метано-повітряної суміші)	Вибух відбувається за 10 с
750	Вибух відбувається за 1,8 с
800	Вибух відбувається за 0,5 с
2000	Вибух відбувається майже миттєво

Дія солей (NaCl, KCl) як «негативних» каталізаторів пояснюється тим, що реакції окиснення CH₄ до CO₂ та H₂O є ланцюговими і ланцюги обриваються на поверхні частинок зазначених солей



Академік М.М. Семенов припустив, що у вугільних шахтах можливий механізм «холодного» займання вибухонебезпечних сумішей, тобто без підвищення початкової температури середовища реакції (за цю роботу в 1956 р. М.М. Семенов був удостоєний Нобелівської премії в галузі хімії). Відповідно до

гіпотези реакція горіння (окиснення) носить характер ланцюга, що розгалужується, проміжними продуктами якої є вільні радикали та атоми, так звані «активні центри» (H, O, OH, HO₂, H₂O₂ та ін.). Одним з критеріїв запобіжності ВР при ланцюговому механізмі запалення є наявність у продуктах вибуху інгібіторів – речовин, що запобігають протіканню реакції окиснення метану до повного її припинення. Обрив ланцюга обумовлений руйнуванням «активних центрів».

Ланцюговою називається хімічна реакція, у кожному елементарному акті якої з'являється принаймні одна активна частинка, що викликає ланцюги перетворень.

Ланцюги перетворень – послідовність хімічних реакцій, у яких продукти попередніх стадій є реагентами для наступних, рис. 4.1.

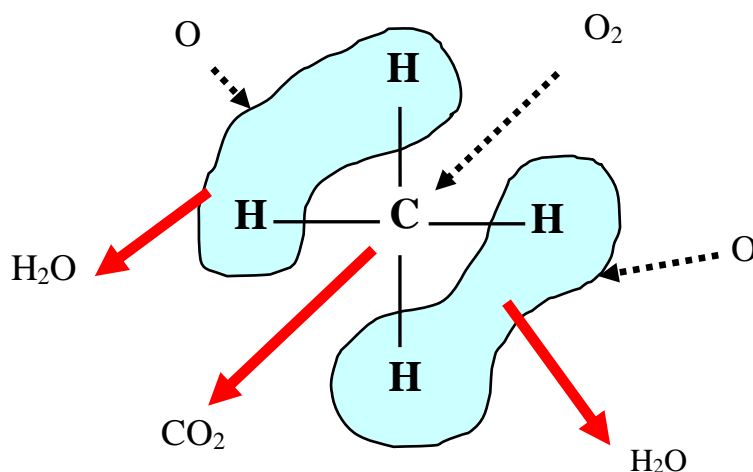


Рис. 4.1. Схема взаємодії кисню повітря з молекулою метану

Для зниження $Q_{\text{виб}}$ і $T_{\text{виб}}$ вибухових речовин, що містять велику кількість аміачної селітри, використовують добавки інертних солей NaCl і KCl. Наприклад, добавки 20 % NaCl знижують $Q_{\text{виб}}$ і $T_{\text{виб}}$ на 25...30 %. NaCl і KCl є не тільки негативними каталізаторами (див. табл. 4.3), а й вогнегасниками.

Вибух метано-повітряної суміші описується рівнянням:



Деякі головні чинники, вплив яких на запалювання МПС найпомітніший:
– повітряна ударна хвиля;

- розпечені або палаючі тверді частинки;
- гарячі газоподібні ПВ.

Таблиця 4.3

Період індукції залежно від типу інгібітору

Інгібітор	Період індукції, с	
	750°C	800°C
NaCl	3,2	0,6
KF	7,1	0,92
KCl	–	5,6

Існуючі гіпотези враховують саме ці чинники, але навіть у цьому випадку вони дозволяють робити менше помилок при підборі запобіжних ВР і умов підривання.

4.2. Особливості вибуху вугільного пилу

Вугільний пил являє собою сукупність твердих мікрочастинок органічного або мінерального походження, неправильної форми у вигляді окремих зерен або агрегатів. Інтенсивним виділенням вугільного пилу супроводжуються такі технологічні процеси: робота виймальних машин (виділяється до 1 – 1,5 кг / т), проведення буропідричних робіт, транспортування вугілля (вагони, стрічкові конвеєри та ін.), падіння вугілля на стрічку транспортера, вібрація стрічки транспортера, зсипання вугілля в бункер тощо. Обсяг і концентрація пилу залежать від режимів провітрювання і продуктивності комбайнів. Утворення пилу збільшується з глибиною в зв'язку зі зменшенням вологості вугілля.

Вугільний пил є не тільки джерелом професійних захворювань, але й вибухів великої руйнівної сили, особливо в суміші з метаном. За багатьма параметрами вугільний пил у метановому середовищі небезпечніше метану. Наприклад, при атмосферному тиску вугільний пил зменшує вибухонебезпечну нижню межу вмісту метану з 4,5 до 3 – 4 %. Сила вибуху вугільного пилу разом з метаноповітряною сумішшю в кілька разів більше вибуху самої МПС. Тепло, що виділяється, є сумою теплових ефектів, пов'язаних з окисненням не тільки метану, а

й атомів вуглецю, водню й азоту на поверхні мікрочастинок вугілля, а також згорянням деякої маси вугільних частинок. У замкнутому просторі підземних виробок різко зростає ймовірність отруєння токсичними газами людей.

З частинок зруйнованого вугілля виділяються і змішуються з повітрям горючі гази, кількість яких зростає з підвищенням температури. Межі вибуховості суміші газів з повітрям, що виділяються з вугілля, наведені в табл. 4.4.

Вугільний пил вважається вибуховим, якщо концентрація частинок 10 – 3000 г/м³, розмір частинок – менше 100 мкм, летючих понад 10 %, вологість і зольність – менше 40 %. Максимальні вибухові властивості мають частинки розміром до 10 мкм. Пил з мікрочастинок розмірами 120 – 150 мкм не вибухає, а з великими розмірами – вибухобезпечна. Особливо хімічно активним є свіжоутворений пил, у якому велика частина хімічно активних центрів залишається пригніченою.

Таблиця 4.4

Концентраційні межі газів [1]

Склад суміші горючих газів (за об'ємом), %			Концентраційні межі (за об'ємом), %	
Водень	Окис вуглецю	Метан	Нижня	Верхня
50	50	–	6,05	71,8
–	50	50	7,7	22,8
33,33	33,33	33,33	5,7	29,9

Повітряна ударна хвиля, поширюючись у процесі руху виробками і залучаючи до зони хімічної реакції додаткові маси вугільного пилу, проходить відстані, вимірювані декількома кілометрами. А.П. Костарев наводить приклад, коли ударна хвиля «...сягала стволів і поверхні, руйнуючи надшахтні будівлі та інші споруди (вибухи метану і пилу на шахтах «Распадська», ім. Шевякова та ін.)».

Безпосередніми причинами вибуху вугільного пилу зазвичай є відкрите полум'я, вибухові роботи, вибух газу та ін.

За даними С.А. Гармашова з колегами, до джерел, що ініціюють вибух суспензії вугільного пилу, можна віднести такі причини:

– статична іскра, що утворюється при розряді електричних зарядів, накопичених на поверхнях тертя (транспортна стрічка та інші рухливі елементи технологічного обладнання);

– електрична іскра;

– іскра, що утворюється при зіткненні твердих тіл;

– нагріте тіло, як джерело підвищеної температури (розігріті елементи технологічного обладнання);

– відкрите полум'я – відкрите джерело вогню (недотримання правил пожежної безпеки обслуговуючим персоналом);

– самозаймання вугільного пилу – утворення вогнищ горіння (тління) в злежалому пилу.

Участь пилу в хімічних реакціях окиснення може проходити двома принципово різними шляхами:

– реакції окиснення газів, що виділилися з вугільних частинок (утворення горючої газоповітряної суміші). В цьому випадку джерелами енергії, здатними ініціювати спалах суміші, є термічні вогнища, причини утворення яких перераховані вище;

– поверхневі, головним чином каталітичні хімічні реакції молекулярного кисню повітря з поверхневими активними центрами.

В останньому випадку роль каталізаторів виконують точкові електричні заряди, поле яких здатне розірвати найсильніший хімічний зв'язок. У цьому випадку реакція може протікати і при температурі 0 К. При збільшенні температури (наприклад, до 300 – 310 К) ймовірність реакції і концентрації оксидів різко збільшується. Теплова енергія, що виділяється на поверхні вугільних частинок, розсіюється, нагріваючи приповерхневі шари повітря і саму частинку. Якщо концентрація частинок в одиниці об'єму перевищує деяке критичне значення, то відбувається мимовільний вибух вугільного пилу. Для реалізації такого процесу необхідне поєднання декількох сприятливих параметрів: розмір мікрочастинок, щільність електричних поверхневих зарядів; концентрація частинок в одиниці об'єму, марка вугілля, фізико-хімічні та технологічні характеристики вугілля.

Електризація вугільних частинок є результатом **трибоелектричного** ефекту – явище, яке полягає в тому, що при терті двох матеріалів або речовин між ними відбувається поділ зарядів.

Електризація тіл проходить при їх зіткненні й обумовлена переходом електронів з поверхні одного тіла на поверхню іншого за рахунок тертя, скочування, ковзання та ін.

Частинки пилу при русі в повітрі, при терті різними поверхнями (у тому числі й один об одного) та в результаті адсорбції іонів з газової фази набувають певної величини електричного заряду і характеризуються визначеною щільністю їх розподілу на поверхні. Спостереженнями встановлено, що електризація зростає зі збільшенням швидкості повітря (збільшується інтенсивність тертя) та зниженням вологості середовища. В цілому на поверхні частинок будь-яких матеріалів накопичуються заряди, у тому числі й на частинках вугілля будь-якої марки. За даними В.І. Ващенка і колег, максимальні значення питомої напруженості отримані для вугілля марок Ж, К, ПС, а мінімальні – для Д, Г і П. Для частинок розміром близько 10 мкм, що характеризуються максимальними вибуховими властивостями, характерна максимальна щільність розподілу зарядів на поверхнях.

Ефект, зумовлений максимальною концентрацією електричних зарядів на поверхні твердої частинки залежно від її розміру, проявляється у багатьох процесах, однак жодного логічного пояснення немає. Можна припустити, що щільність розподілу зарядів на поверхні мікрочастинок підкоряється нормальному закону розподілу як і розподіл мікрочастинок пилу за розмірами, рис. 4.2.

На розміри 3,0 і 3,6 мкм припадає відповідно 32,2 і 28,8 %, тобто 61 %.

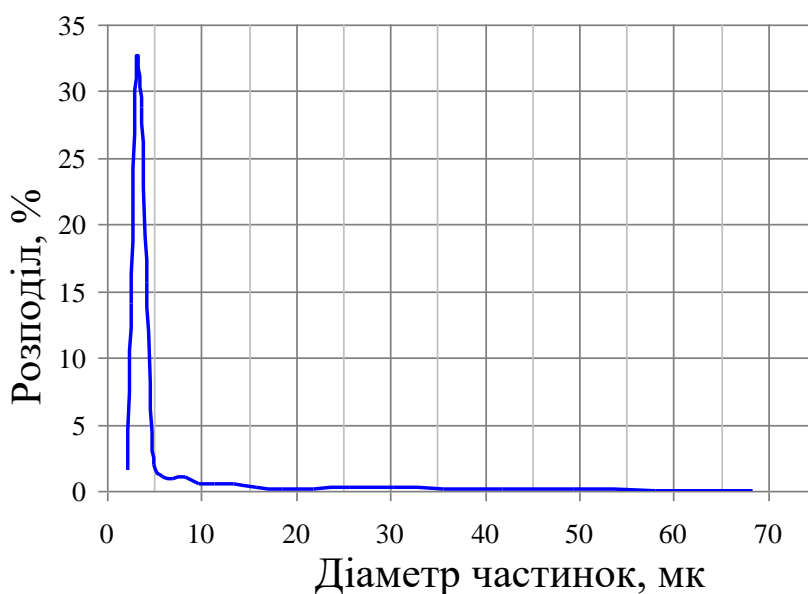


Рис. 4.2. Розподіл вугільних частинок за розміром

Місце відбору зразка пилу – канал вентилятора головного провітрювання ВОД-30М-2 ПСП «ШУ ПАВЛОГРАДСЬКЕ», ш. ПАВЛОГРАДСЬКА ПАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ».

4.3. Принципи побудови запобіжних ВР

З урахуванням встановлених фізико-хімічних закономірностей процесу займання горючих газів сформульовані описані далі принципи створення рецептур стійко детонуючих запобіжних ВР різних класів.

Обмеження енергії вибуху до заданої верхньої межі. Таке обмеження зумовлене тим, що при більш високій теплоті гази вибуху мають відповідно і більш високу температуру, у результаті чого збільшується ймовірність загоряння МПС.

Для зниження температури вибуху і зменшення ймовірності займання метаноповітряної та пилоповітряної сумішей у шахтах до складу ВР вводяться полум'ягасники на кшталт NaCl або KCl, що використовуються найчастіше. Полум'ягасники не беруть участі в реакції під час вибуху, тільки нагріваються і випаровуються, знижуючи тим самим температуру газів вибуху. Перемішуючись з МПС, зазначені хлориди виконують роль інгібіторів. Полум'ягасники вводять до складу ВР у вигляді гранул розміром 0,5 – 2,0 мм з тонкодисперсних частинок.

Інгібування газопилепоповітряної суміші при змішуванні з продуктами вибуху, що розширюються. У таких випадках зменшується ймовірність виникнення і розвитку ланцюгової реакції запалення (за рахунок обриву ланцюгів).

Даний принцип реалізується введенням до складу сумішевих ВР в основному солей NaCl і KCl. Тонке подрібнення полум'ягасників підвищує запобіжні властивості та знижує детонаційну здатність ВР, а велике подрібнення підсилює детонаційну здатність ВР, але знижує запобіжні властивості. Підбираючи розмір частинок, регулюють ті чи інші властивості ВР. Зазвичай ці речовини з тонкодисперсних частинок вводять до складу ВР у вигляді гранул розміром 0,5 – 2,0 мм.

Застосування як окиснювача аміачної селітри (АС). Під час вибуху АС виділяє багато газоподібних продуктів (0,976 м³/кг) і тому збільшує працездатність ВР, при цьому характеризується невеликим виділенням теплоти – 1400 кДж/кг і тому має низьку температуру вибуху – 1623 К.

Створення ВР, у якій тонкодисперсний полум'ягасник утворюється тільки в процесі його вибухового перетворення. У цьому випадку наявність

вогнегасника в продуктах вибуху не впливає на потенційну теплоту вибуху. Цей принцип використаний у деяких ЕВР виробництва Павлоградського хімічного заводу.

Створення селективндетонуючих ВР. Згідно з цим принципом вибухові механічні суміші являють собою саморегульовані системи: теплота їх вибуху змінюється залежно від умов підривання. Селективність забезпечується створенням ВР з двох компонент, що відрізняються між собою за хімічною активністю. Одна з них легко детонує в будь-яких умовах (наприклад, нітрогліцерин вмістом до 15 %). Друга являє собою іонообмінну пару солей, наприклад, суміш натрієвої або калієвої селітри з хлористим амонієм. Під час вибуху 1 кг вугленіту Е-6 утворюється 317 г хлориду натрію (калію).

Такий склад ВР призводить до того, що при торцевому або бічному оголенні заряду вибухає тільки нітрогліцерин. Інша частина ВР відіграє роль полум'ягасника. В результаті виділяється близько 50 % розрахункової теплоти, при цьому газу вибуху нагріваються до температури, якої недостатньо для займання метану.

Запобіжні ВР III і IV класів створені на перших трьох принципах, дотримуючись яких стає можливим надати ВР будь-який рівень запобіжності.

Основні вимоги, що ставляться до всіх запобіжних ВР, є обов'язковими і для високозапобіжних складів. Ці вимоги зводяться до такого:

- мати невелику теплоту і температуру вибуху;
- мати невелику працездатність – близько 200 – 240 см³ при підриванні по вугіллю, а в особливо небезпечних вибоях – 170 см³; 240 – 300 см³ – при підриванні по породі;
- енергія вибуху повинна бути обмежена;
- повинні добре детонувати;
- мати кисневий баланс, близький до нуля;
- до складу ВР доцільно вводити інертні речовини, у яких проявляються у той же час негативні каталітичні властивості відносно реакції окиснення метану;
- не повинні містити сторонніх включень (металевих та ін.), здатних горіти в повітрі з розвитком високої температури.

Відповідаючи цим вимогам, запобіжні ВР мають свої, властиві тільки їм особливості, завдяки яким вони забезпечують високий ступінь безпеки при підричних роботах. Сучасні запобіжні ВР, безпечні з точки зору займання МПС, можна вважати безпечними і відносно займання пилоповітряної суміші.

4.4. Перспективи розвитку запобіжних ВР

За оцінками фахівців, до 25 % випадків займання МПС і (або) ППС у небезпечних виробках шахт відбувається внаслідок підричних робіт. Аналіз вибухів у шахтах показує (досвід України і Росії), що головними причинами є вигорання зарядів (~ 25 %) і їх оголення (~ 25 %), далі йдуть тріщини в масиві порід (~ 20 %), відсутність або недостатність забійки (~ 12 %), низька водостійкість зарядів.

Таким чином, майже половина аварій пов'язані із застосуванням ВР, які не відповідають зазначеному класу запобіжності й запалюють газ у результаті оголення заряду, при наявності тріщин у масиві порід і відсутності забійки. Існуючий асортимент запобіжних ВР має ряд недоліків. Наприклад, запобіжні амоніти здатні до вигорання, злежуваності, вони мають малу водостійкість, високу чутливість до ущільнення і т. п. Вибухові речовини, що містять нітроефіри, мають багатокомпонентний склад, містять токсичні сполуки, мають високу чутливість до механічних впливів та високу вартість.

Використання запобіжних ВР не гарантує у повному обсязі необхідний рівень безпеки для ведення підричних робіт у вибухонебезпечній атмосфері шахт. Тому дуже важливо їх подальше вдосконалення в напрямку збільшення маси граничного заряду в МПС (або підвищення антигризутності).

Деякі фахівці вважають [7], що найбільш перспективним напрямом підвищення рівня запобіжних властивостей ВР є застосування в їх складі хімічно активних солей – інгібіторів реакції окиснення метану киснем повітря. В результаті гальмування цієї реакції інгібітором, який знаходиться в складі запобіжної ВР, вдається попередити вибухи МПС при підричних роботах.

З появою в промисловості нового покоління емульсійних вибухових речовин виникла реальна можливість створення нових запобіжних ВР, які поєднують у собі безпечні властивості й необхідні детонаційні характеристики. Тонкодисперсна структура цих ВР при наявності води, що мають теплоту вибуху в межах

700 ккал/кг і високу детонаційну здатність без використання індивідуальних вибухових речовин, дозволили створити промислові ВР III – V класів, табл. 4.5.

Фізико-хімічні параметри та вибухові властивості поремітів відповідають не тільки технічним вимогам гірничодобувної галузі, а й кращим світовим зразкам, табл. 4.6.

Переваги запобіжних поремітів порівняно з патронованими штатними запобіжними ВР:

- висока безпека по відношенню до механічних і теплових впливів (удару, тертя, прострілу кулею, вогню і т. п.);
- низька здатність до горіння або несхильність до вигорання;
- висока чутливість до ініціювання стандартним КД;
- відсутність цвітіння, електризації, ексудації і контакту з токсичними продуктами;
- збереження вибухових характеристик в інтервалі щільності від 0,5 до 1,5 г/см³;
- висока водостійкість, що зберігається в воді на великій глибині та в проточній воді;
- забезпечують під час вибуху виділення газів низької токсичності;
- дешеві у виготовленні; висока техніко-економічна ефективність застосування.

Таблиця 4.5

Характеристики патронів емульсійних ВР (за Ю. Михайловим та ін.)

ВР	Марка	Клас	Діаметр патрона, мм	Маса патрона, кг	Водостійкість, діб	Щільність патрона, г/см ³
Пореміт	ПП-IV-I	III та IV	36	0,3	Більше 14	1,10–1,20
	ПГ-IV-I	IV	36	0,3		
Монозаряд пореміта	МППИ-IV	IV та V	36	0,4 та 0,7		

**Деякі вибухові властивості запобіжних патронованих емульсійних ВР
(за Ю. Михайловим та ін.)**

ВВ	Температура вибуху, °С	Теплота вибуху, ккал/кг	Працездатність відносно ТНТ	Чутливість до удару, %	Швидкість детонації, км/с	Стійкість проти вигорання, г
Пореміт ПП-IV-I	1800	600	0,93 – 0,97	0	3,2 – 3,5	Більше 2
Пореміт ПГ-IV-I	1870	720	0,95 – 0,98		3,6 – 4,2	
Монозаряд пореміта	1780	590	0,90 – 0,93		3,0 – 4,0	

4.5. Методи випробування запобіжних ВР

4.5.1. Випробування на безпеку дії вибуху в метано-повітряній суміші

Рівень запобіжності ВР, призначених для шахт, небезпечних за вибухом газу або пилу, встановлюють тільки експериментально шляхом займання метаноповітряної (МПС) і пилоповітряної (ППС) сумішей зарядами ВР при різних найбільш небезпечних умовах їх підривання. В процесі випробувань штучно відтворюються найбільш небезпечні ситуації, можливі при підривних роботах у вугільних шахтах. Чим вище клас запобіжності ВР, тим жорсткіше умови випробувань і вище нормативи рівня запобіжності.

За однією зі схем підривання заряду запобіжної ВР виконується в каналній мортирі (позиція 5 на рис. 4.3) без забійки, тобто моделюється торцеве оголення заряду. Розрізняють такі варіанти просторового розміщення випробуваного заряду в каналі мортири:

- для класів III і IV заряд ВР досилається до дна каналу;
- при випробуванні ВР класів V і VI заряд розміщують на відстані 50 мм від гирла каналу.

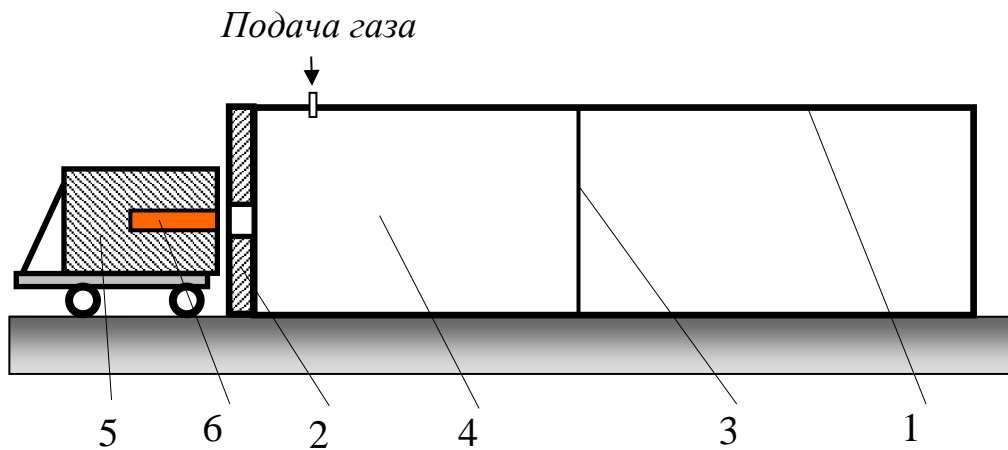


Рис. 4.3. Схема дослідного штреку; випробування ВР в каналній мортирі:
 1 – стальова труба; 2 – дно штреку з отвором; 3 – діафрагма;
 4 – вибухова камера (10 м³); 5 – канална мортира; 6 – заряд ВР

Це основний вид випробування, якому піддаються ВР класів III–VI. При підриванні в каналі мортири (рис. 4.3) енергія вибуху буде в основному спрямована на викид (через гирло каналу) розпечених продуктів вибуху (суміш газів, вибухових частинок, ЕД і полум'ягасника). Викинуті продукти вибуху розширюються у вибуховій камері та змішуються з вибухоздатною МПС або ППС. Частина їх, здатна до окиснення, догорає в повітрі, що створює нове, більш сильне полум'я, ніж те, яке при детонації вирвалося з каналу мортири.

На безпеку за метаном запобіжні ВР випробують у дослідних штреках, рис. 4.3.

Дослідний штрек являє собою стальову трубу діаметром 1,5 – 1,8 м і довжиною 15 – 25 м. З одного боку труба відкрита, а з другого – має стальове днище з отвором діаметром 400 мм для мортири. У внутрішній порожнині дослідного штреку встановлюється паперова діафрагма, що розділяє штрек на дві камери. Простір камери від днища до діафрагми (10 м³) називають вибуховою камерою, у якій перед випробуванням ВР створюється метано-повітряна атмосфера вибухонебезпечної концентрації (~ 10 % метану за обсягом). Рівномірний розподіл компонентів суміші здійснюють за допомогою лопатевої мішалки. Концентрацію газу у вибуховій камері вимірюють електричним газоаналізатором.

Мортира являє собою стальовий циліндр довжиною 1200 мм і діаметром 550 мм з непрямым каналом діаметром 55 мм і глибиною 900 мм. У канал мортири

встановлюється заряд запобіжної ВР масою 600 г. Заряд ВР підривають електродетонатором. Мортиру на візку підкочують до днища штреку, перекриваючи отвір у ньому так, щоб канал і заряд сполучалися з вибуховою камерою. Потім проводять підривання. У разі, якщо відбулося «займання», заряд зменшують, а при «незаймистості» – збільшують і повторюють дослід. Змінюючи масу заряду, домагаються «незагоряння» при максимально можливому заряді, який підтверджують двадцятьма або п'ятьма послідовними підриваннями (встановлюють $m_{гр}$) або визначають масу заряду, що дає 50 % займань $m_{(50)}$.

Вибухова речовина вважається запобіжною, якщо при 10-кратному виконанні вибух МВС не відбудеться жодного разу. За цією схемою випробують запобіжні ВР III і IV класів.

Вибухові речовини V класу випробують у середині загазованої камери, підриваючи патрон масою 200 г.

Відповідно другій схемі випробування заряди ВР підривають у кутовій мортирі зі сталеву відбивною стінкою, рис. 4.4.

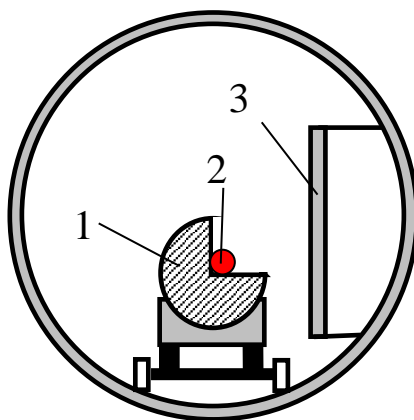


Рис. 4.4. Схема кутової мортири з відбивною стінкою у дослідному штреку:

1 – кутова мортира; 2 – заряд ВР; 3 – відбивна стінка

Вибухові речовини VI класу випробують у середині загазованої камери, підриваючи заряд, що імітує оголення і який розміщений між ребрами кутової мортири, при цьому встановлюють максимальну масу ВР, що не викликає вибуху МПС.

Кутова мортира являє собою сталевий циліндр діаметром 230 мм і довжиною 2000 мм з поздовжнім пазом глибиною 90 – 100 мм. Мортира поміщається у

вибуховій камері дослідного штреку, що заповнюється стехіометричною сумішшю МПС. Патрони ВР поміщають у паз кутової мортири і підривають.

Відбійна стінка, виконана із сталевого листа розміром 1×2 м, встановлюється на відстані 0,6 м від поверхні заряду. Така схема моделює бічне оголення шпурового заряду.

Вибухові речовини VI класу вважаються такими, що витримали випробування, якщо заряд масою 1 кг не запалює МПС протягом 10 послідовних дослідів на відстані кутової мортири від відбійної стінки 20 см.

Нормативи за рівнем запобіжності, яким повинен задовольняти кожен клас ВР (при прямому ініціюванні), наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Нормативи за рівнем запобіжності ВР III – VI класів

Клас ВР	Випробування в небезпечних умовах за	Норматив, г	
		$m_{(50)}$	$m_{гр}$
При підриванні в каналній мортирі			
III	Газом	175	–
III	Пилом	Не випробовується	
IV	Газом	300	–
IV	Пилом	–	700
V	Газом	–	1000
V	Пилом	–	600
VI	Газом	–	1000
VI	Пилом	–	1000
При підриванні в кутовій мортирі			
III	Не випробовується		
IV	Не випробовується		
V	Газом	–	100
V	Пилом	–	400
VI	Газом	–	600
VI	Пилом	–	1000

Вибухові речовини, які витримали випробування в дослідному штреку, вважаються безпечними при застосуванні їх в шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу.

Використання таких зарядів ВР передбачає дотримання таких вимог:

- обов'язкове виконання призначеної їм роботи;
- у незарядженій частині шпуру повинна бути розміщена забійка;
- вміст метану в атмосфері вибою і на ділянці привибійного простору довжиною до 20 м має бути менше 1 %;
- вибій, покрівля, стіни і підшва виробки на відстані до 20 м від вибою повинні бути рясно змочені водою з додаванням змочувачів;
- у привибійному просторі виробки повинна бути створена водорозпилювальна завіса, якщо це регламентується нормативними документами.

4.5.2. Випробування на безпеку дії вибуху в пилоповітряному середовищі

Для створення вибухонебезпечної суспензії вугільного пилу ($400 - 600 \text{ г/м}^3$) в дослідному штреку на відстані 8 – 11 м від днища під кутом 20° до горизонтальної осі штреку встановлюється пилорозпилювальна мортира, рис. 4.5, на дно якої поміщають заряд ВР масою 50 г з електродетонатором миттєвої дії. Зверху заряд ВР покривають вугільним пилом масою 6 кг. Вугільний пил розпорошують за 2 – 10 с до вибуху основного заряду, що випробується. При проведенні випробувань діафрагму в штреку не ставлять.

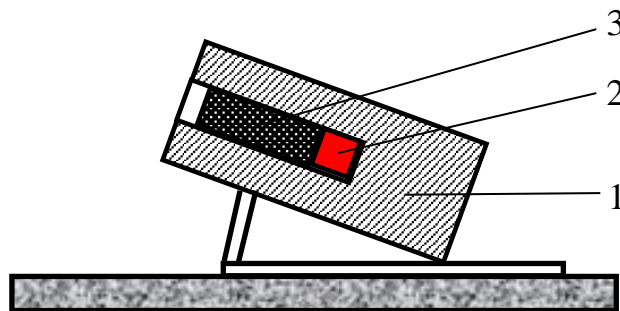


Рис. 4.5. Схема пилорозпилювальної мортири:
1 – мортира; 2 – заряд ВР (50 г); 3 – вугільний пил

Вибухова речовина вважається запобіжною, якщо при 10-кратному підриванні заряду масою 700 г не відбулося жодного вибуху пилу.

Питання для самоконтролю знань

1. Сформулюйте основні положення гіпотези Малляра і Ле-Шательє.
2. Яку масу заряду ВР називають граничною?
3. Сформулюйте основні положення гіпотези Одібер і її відмінності від гіпотези Малляра і Ле-Шательє.
4. Наведіть приклади вибухонебезпечних меж вмісту метану в метано-повітряній суміші.
5. Якими параметрами характеризується вибухонебезпечність МПС?
6. Що розуміють під терміном "період індукції"?
7. Як впливає температура нагрівання МПС на затримку спалаху?
8. Як ви розумієте механізм дії негативних каталізаторів?
9. Які особливості взаємодії молекул метану з киснем повітря?
10. Які реакції називають ланцюговими і що таке "ланцюг перетворень"?
11. Як змінюється період індукції залежно від типу негативного каталізатора?
12. Перелічіть основні фактори, що впливають на запалення метано-повітряної суміші.
13. Перерахуйте основні вимоги до запобіжних ВР.
14. Якими недоліками характеризуються запобіжні ВР?
15. Які головні причини займання МПС, ППС і вибухів у шахтах?
16. У чому полягає перспектива використання поремітів у небезпечних умовах шахт?
17. Як проводять випробування запобіжних ВР на безпеку дії вибуху в МПС?
18. Як проводять випробування запобіжних ВР на безпеку дії вибуху в пилоповітряній суміші?
19. У чому полягає особливість випробування запобіжних ВВ V і VI класів на безпеку дії вибуху в МПС?
20. Назвіть основні принципи створення рецептур запобіжних ВР, що стійко детонують.
21. У чому полягають особливості властивостей вугільного пилу?
22. Чому найбільш сильний вибух метану відбувається в присутності вугільного пилу?

23. Перерахуйте можливі причини утворення джерела займання суспензії вугільного пилу.
24. Які основні варіанти окиснення пилу вам відомі?
25. Яку роль виконують електричні заряди на поверхні вугільних частинок?

Список рекомендованої літератури

1. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – Москва: Недра, 1988. – 358 с.
2. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом / Б.Н. Кутузов. – Москва: МГИ, 1992. – 516 с.
3. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах: пер. с англ. / М.А. Кук; под ред. Г.П. Демидюка и Н.С. Бахаревича. – Москва: Недра, 1980. – 453 с.
4. Кукиб Б.Н. Высокопредохранительные взрывчатые вещества / Б.Н. Кукиб, Б.Д. Росси. – Москва: Недра, 1980. – 172 с.
6. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13. – Луганськ: Луганський ЕТЦ, 2013. – 193 с.
7. Калякин С.А. Взаимодействие кристаллов солей-ингибиторов с продуктами детонации взрывчатого вещества / С.А. Калякин // Физика и техника высокоэнергетической обработки материалов. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2007. – С. 10–19.

5. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ДІЇ ВИБУХУ В СЕРЕДОВИЩІ

У розділі наведено класифікацію зарядів вибухових речовин. Розглянуто основи теорії дії вибуху в різних середовищах. Описано руйнування порід короткоуповільненим підриванням.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти:

- класифікувати заряди вибухових речовин;*
- класифікувати показник робіт;*
- описувати механізм руйнування різних середовищ вибухом;*
- оцінювати ефективність використання короткоуповільненого підривання зарядів.*

5.1. Класифікація зарядів ВР

Для руйнування масиву гірських порід застосовують вибухи різних зарядів вибухових речовин, тобто певної кількості ВР, підготовленої до вибуху. Заряди залежно від мети, призначення і умов, у яких вони працюють, класифікують за кількома ознаками: за формою, конструкцією, способом застосування до об'єкта, що вибухає, і за характером дії на масив породи. Залежно від форми, величини і способу розміщення заряду, застосовуються відповідні методи ведення вибухових робіт.

Заряди ВР класифікують за формою, конструкцією і характером дії на породний масив. За формою:

- **зосереджені** (заряди, що мають форму кулі, куба, циліндра і т. п., у яких відношення найбільшої сторони до найменшої менше 3 – 5 одиниць);
- **подовжені** (циліндричні заряди, у яких відношення довжини до діаметра перевищує 3 – 5 одиниць, такі заряди називають ще колонковими);
- **фігурні** (умовно утворюють П-, Г-, Т-подібну форми та ін.);
- **листові** (відношення довжини або ширини у багато разів перевищує товщину, зазвичай це заряди пластичної ВР).

Відповідно до розміщення заряди бувають:

- **зовнішні або накладні** (заряди, що поміщаються на об'єкті підриву; застосовують в основному для дроблення негабариту, обвалення козирків на уступах, в операціях з металообробки);

– **внутрішні** (заряди, що поміщають усередину об'єкта підризу – в шпури, свердловини, камери; застосовують для руйнування мінеральної сировини з метою її подрібнення і подальшої переробки; для проведення підземних гірничих виробок, спорудження каналів, траншей і т. п.).

Залежно від форми, величини і способу розміщення заряду застосовуються такі **методи підризних робіт** (роботи, що виконуються для руйнування гірських порід із застосуванням ВР):

– **зовнішніх (накладних) зарядів** – полягає у підризанні зарядів, розташованих безпосередньо на поверхні об'єкта, що руйнується; застосовується при дробленні негабаритів; для підвищення ефективності зовнішні заряди прикриваються матеріалом забійки (глина, пісок, подрібнена порода тощо), товщина шару якої не повинна бути менше подвійної товщини заряду вибухової речовини;

– **шпурових зарядів** – полягає в бурінні шпурів діаметром до 75 мм і глибиною до 5 м; застосовується головним чином при проходці гірничих виробок, дробленні великих шматків породи і видобутку штучного каменю;

– **свердловинних зарядів** – полягає в підризанні подовжених зарядів, розміщених у свердловинах діаметром більше 75 мм; застосовується на відкритих і підземних гірничих роботах для відбивання гірських порід;

– **камерних зарядів** – використовують при підризанні на розпушування, скидання, викид; для розміщення камерних зарядів у масиві, який підризається, проходять горизонтальні (штольні, розсічки), вертикальні (шурфи) або похилі виробки, з яких, у свою чергу, проходять зарядні камери; величина заряду в камерах сягає іноді кілька тисяч тонн; малокамерні заряди розташовують у шурфах і штольнях або у виробках невеликого нахилу площею перетину від $0,2 \times 0,2$ до $0,5 \times 0,5$ м;

– **котлових зарядів** – застосовують, коли ними технологічно можливо й економічно доцільно замінити камерні, свердловинні або шпурові заряди; коли опір по підшві уступу настільки великий, що заряд, поміщений в свердловину або шпур, не в змозі його подолати [1]. Котловими називають заряди, розміщені в порожнині (котлі), утвореній розширенням у донній частині шпуру або свердловини шляхом прострілювання малими зарядами та іншими способами. Шпури і свердловини, що мають котли, називають відповідно котловими шпурами і котловими свердловинами.

За конструкцією:

- **суцільний** (не поділений проміжками);
- **розосереджений** (окремі частини якого розділені проміжками повітря, подрібненої породи, води тощо).

За характером дії на породний масив:

- **заряд камуфлету** (камуфлет у перекладі з французької – вибух під землею, зазвичай без утворення воронки; руйнування, подрібнення й утворення тріщин відбуваються тільки навколо місця розташування заряду без прояву видимих руйнувань на відкритій поверхні, рис. 5.1, а);

- **заряд відколу** (під час вибуху відбувається відкол породи у відкритій поверхні та руйнування навколо заряду, рис. 5.1, б);

- **заряд розпушування** (дроблення породи відбувається в об’ємі, починаючи від місця розташування заряду до відкритої поверхні масиву без її викиду із зони або воронки руйнування, рис. 5.1, в);

- **заряд викиду** (викликає дроблення і викид породи за межі воронки вибуху, рис. 5.1, г).

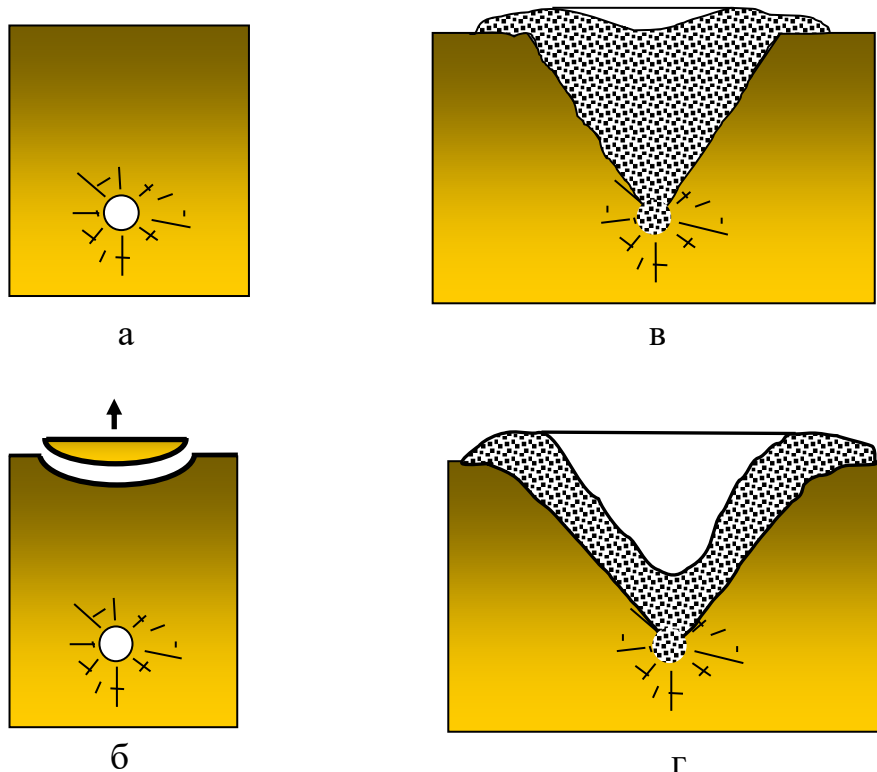


Рис. 5.1. Дія вибуху різних зарядів ВР:
а – камуфлету; б – відколу; в – розпушування; г – викиду

Заряд однієї і тієї ж маси може бути як зарядом камуфлету, так і зарядом розпушування або викиду залежно від глибини його закладення (рис. 5.2, а) або при одній і тій же глибині закладення залежно від маси заряду (рис. 5.2, б).

Геометричні параметри і форма утвореної воронки після вибуху заряду ВР залежать від властивостей породи, у якій виконується підривання. Форму воронки вибуху зазвичай задають у вигляді конуса з вершиною в центрі заряду ВР, рис. 5.3.

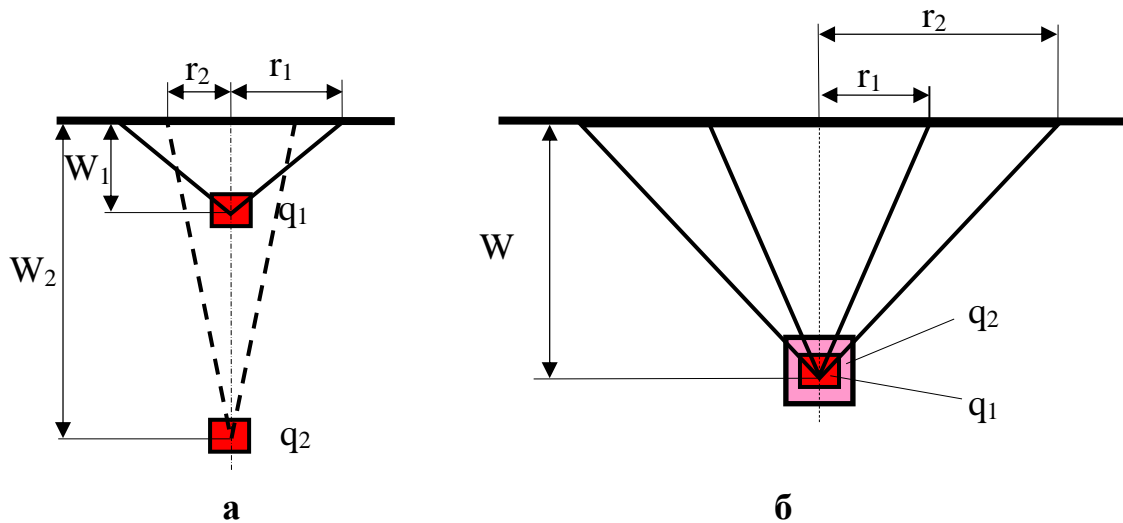


Рис. 5.2. Способи зміни характеру дії вибуху на середовище:
а – зміною глибини закладення заряду ВР; б – зміною маси заряду ВР

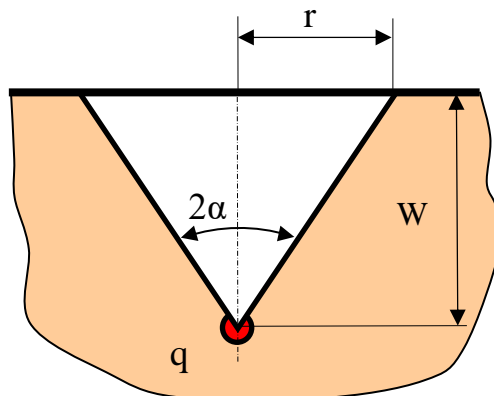


Рис. 5.3. Елементи воронки викиду

З рисунку видно основні елементи воронки викиду:

– W – глибина закладення заряду або лінія найменшого опору (ЛНО);

- r – радіус основи воронки або радіус воронки вибуху;
- 2α – кут розкриття воронки.

Показником дії вибуху або показником розкриття воронки n називається відношення радіуса воронки вибуху до лінії найменшого опору, тобто

$$n = r / W. \quad (5.1)$$

Залежно від величини показника дії вибуху розрізняють три різновиди зарядів викиду:

- **нормальний викид**, $n = 1$;
- **зменшений викид**, $n < 1$;
- **посилений викид**, $n > 1$;
- **заряд розпушування** – воронка не утворюється, $n \leq 0,7$.

Заряди нормального і зменшеного викиду застосовують на кар'єрах для дроблення скельних порід. При підземному відбиванні порід, проходці виробок і будівництві споруд застосовують заряди посиленого викиду з показником дії вибуху 2 – 3.

При проведенні експериментів по породах з $f \geq 12$ встановлено (дослідження проведені М. Налісько), що як характеристика дії вибуху найбільш чутливим параметром до зміни умов підривання є глибина воронки викиду h_v , а не параметр n . При максимальному значенні співвідношення h_v / q_3 залежність кута розкриття α від глибини воронки зображена на рис. 5.4.

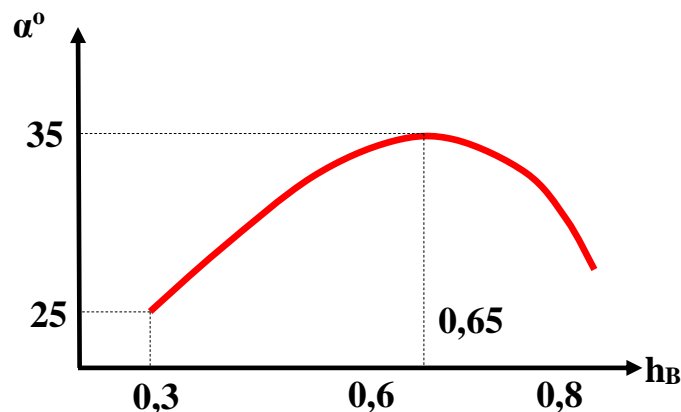


Рис. 5.4. Залежність кута розкриття воронки від її глибини (за М. Наліськом)

Раціональна довжина зарядів обчислюється за формулою:

$$l_3 = 3,5(h_B)^{0,3}\alpha^{-0,32}, \text{ м.} \quad (5.2)$$

Глибина воронки вибуху може бути розрахована з виразу:

$$h_B = 4,34l^{1,2}P_3^{1,05}q_3^{0,63}l_{ш}^{-0,95}, \text{ м,} \quad (5.3)$$

де P_3 – показник ефективності заряду.

Величина руйнування міжшпурового цілика l_{Π} спадає за статичною залежністю від відстані між зарядами, а при зближенні зарядів на мінімально припустимі відстані глибина порожнини в міцних породах сягає глибини воронки викиду одиночного заряду:

$$l_{\Pi} = 0,2 - 0,7a^4 - 0,25h_Ba + 0,98h_B^2, \text{ м,} \quad (5.4)$$

де a – відстань між шпурами.

Залежність кута розкриття воронки викиду α від її глибини h_B (при максимальному співвідношенні h_B / q_3) слід знаходити з такою виразу:

$$\alpha = (0,31h_B^3 - 0,36h_B^2 + 0,086h_B + 1,04) / l_{\Pi}, \text{ град.} \quad (5.5)$$

Заряди камуфлету, розпушування або викиду за формою можуть бути зосередженими, подовженими або розосередженими.

Підривання групи зарядів може відбутися одночасно або з уповільненнями.

5.1.1. Кумулятивний заряд

Явище кумуляції вперше спостерігав інженер М.М. Божевський в 1864 р., а в 1883 р. винахідник Макс фон Ферстер реалізував кумулятивний ефект, виконавши заряд ВР з порожниною. Кумулятивний ефект (ефект Манро) вперше досліджував і докладно описав (1888 р.) американець Чарльз Манро. Гідродинамічну

теорію кумулятивних зарядів з металевим облицюванням уперше розробили М.О. Лаврентьєв і Г.І Покровський у 1943 р.

Кумуляція – концентрація енергії вибуху в певному напрямку, що досягається специфічною формою заряду вибухової речовини. **Кумулятивний заряд** – заряд ВР з виїмкою (конічною, напівсферичною тощо) в основі, у результаті вибуху якого газоподібні продукти детонації утворюють потік, який сходиться до виїмки, що має назву **кумулятивного струменя**. Кумулятивні заряди бувають циліндричні та лінійні. Застосовуються для руйнування металевих перешкод, гірських порід та інших матеріалів. Широко використовуються при проведенні прострільних робіт у свердловинах. Схема дії кумулятивного заряду показана на рис. 5.5.

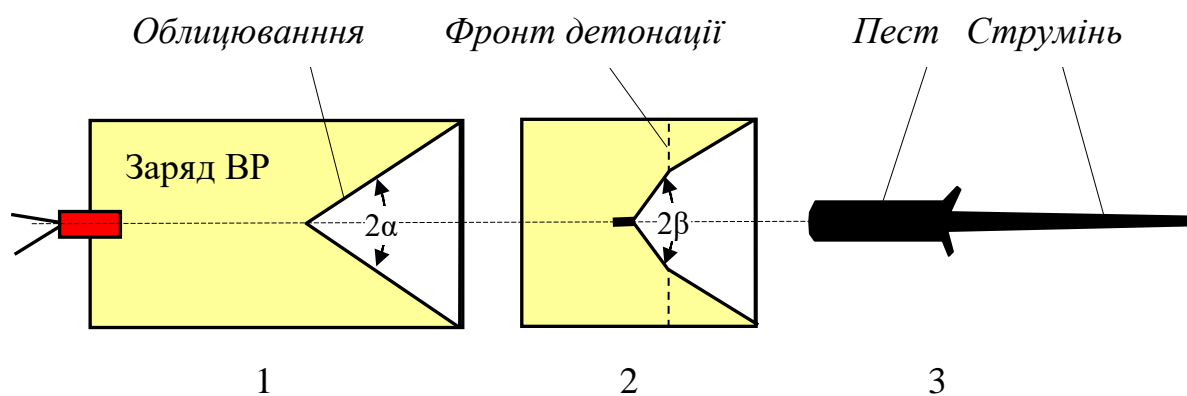


Рис. 5.5. Формування струменя в кумулятивному заряді:

- 1 – вихідний заряд з конічною виїмкою; 2 – стиснення виїмки;
3 – утворення песта і струменя

В.В. Калашников та ін. (РФ, м. Самара, 2010) за допомогою комп'ютерного моделювання показали фрагменти розвитку процесу формування кумулятивного струменя, рис. 5.6.

Перші публікації про застосування кумулятивних зарядів у шпурових зарядах з'явилися в Гірничому журналі в 1947 р. Кумулятивний ефект застосовувався головним чином для ініціювання амоніту, руйнування міцних порід, мерзлих ґрунтів, у капсуль-детонаторах і електродетонаторах.

На рис. 5.7 показаний характер дії на масивну металеву пластину циліндричного суцільного заряду ВР і кумулятивних зарядів.

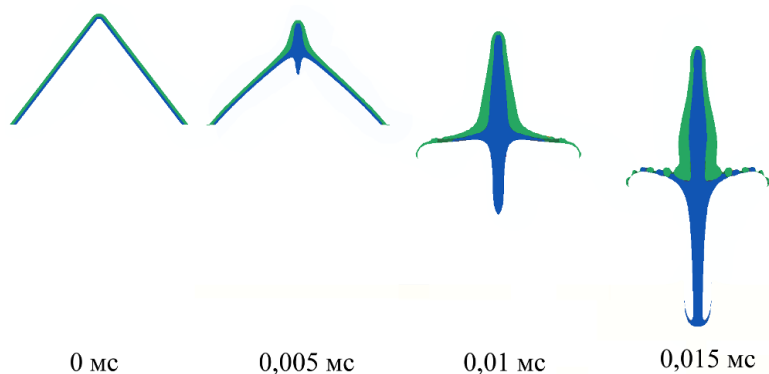


Рис. 5.6. Характерний розподіл матеріалу в момент формування кумулятивного струменя

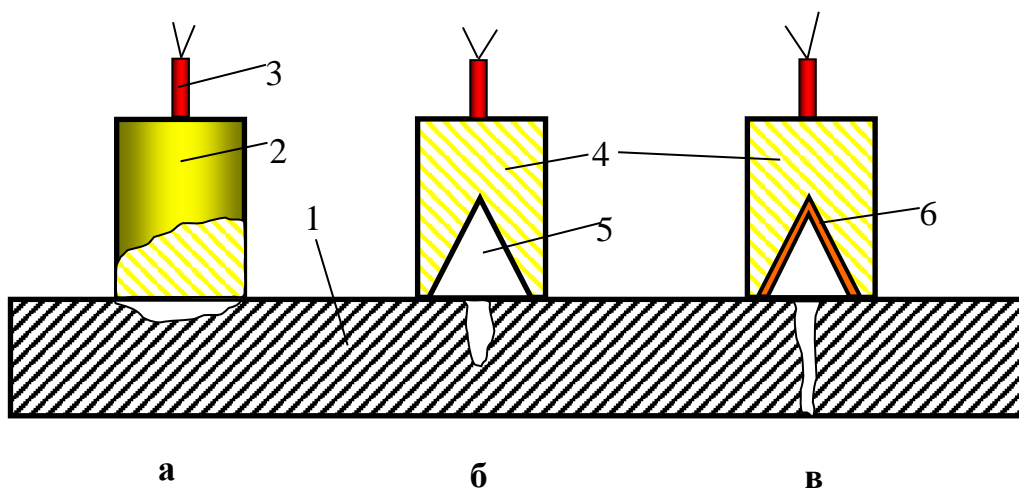


Рис. 5.7. Схематичне зображення дії кумулятивних зарядів на перешкоду:
 а – циліндричний заряд; б – заряд ВР з кумулятивною виїмкою; в – заряд ВР з кумулятивною виїмкою, облицьованою міддю; 1 – перешкода; 2 – заряд ВР без кумулятивної виїмки; 3 – ЕД; 4 – кумулятивні заряди; 5 – кумулятивна виїмка; 6 – виїмка, облицьована міддю

Основні співвідношення для параметрів кумуляції – швидкість і тиск струменя – розраховують, користуючись такими виразами:

– швидкість кумулятивного струменя V_K :

$$V_K = V_0 [(1/\sin\alpha) + (1/\operatorname{tg}\alpha)], \quad (5.6)$$

де V_0 – швидкість, яку передають продукти вибуху металу облицювання кумулятивної виїмки; α – половина кута розкриття конічної виїмки;

– тиск кумулятивного струменя на перешкоду знаходять з виразу:

$$P = 0,5(V_K)^2\rho_0, \quad (5.7)$$

де ρ_0 – щільність матеріалу облицювання.

Кут 2β між стінками облицювання, що стискаються, буде більше початкового кута розкриття конуса 2α , який на практиці становить $30^\circ - 40^\circ$. Маса облицювання m ділиться між масами струменя m_C і песта m_{II} таким чином:

$$m_C = 0,5m(1 - \cos \beta); \quad m_{II} = 0,5m(1 + \cos \beta).$$

Оскільки головна частина струменя рухається з більшою швидкістю, ніж частина, що примикає до песто, то довжина струменя в міру переміщення розтягується, стійкість її знижується. Надалі струмінь розпадається на окремі фрагменти (рис. 5.8, б) і його пробивна здатність різко падає.

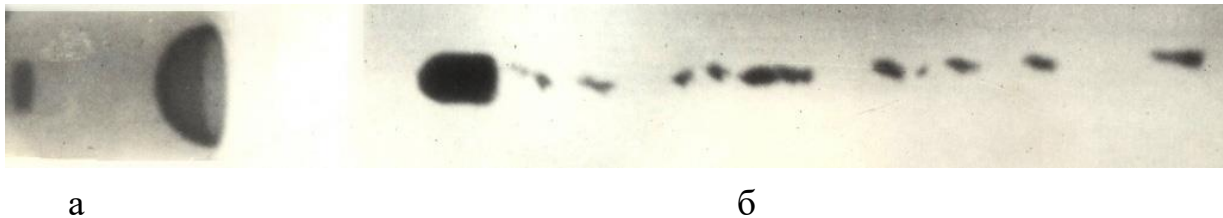


Рис. 5.8. Рентгенівський знімок розпадного кумулятивного струменя: а – кумулятивний заряд (ліворуч темний чотирикутник – детонатор, праворуч – півсферична виїмка); б – пест (ліворуч) і фрагменти розпадного струменя (праворуч)

На практиці використовують литі склади тротилгексогену. Співвідношення активної маси ВР (M) до маси металевго облицювання (m) для визначення оптимальної товщини облицювання становить: $M/m = 0,21$ [10].

Якщо струмінь і перешкода з одного матеріалу, то обидва рухаються назустріч один одному зі швидкістю, що дорівнює половині швидкості струменя.

Якщо матеріали різні, то швидкість руху до точки контакту струменя і перешкоди також різна:

$$\rho_c V_k^2 = \rho_{\Pi} V_{\Pi}^2, \quad (5.8)$$

де ρ_c и ρ_{Π} – відповідно щільність струменя і перешкоди; V_k та V_{Π} – відповідно швидкість струменя і перешкоди.

Зі зменшенням кута розкриття конуса згідно з гідродинамічною моделлю акумуляції швидкість струменя зростає, табл. 5.1. Зростає швидкість і при збільшенні швидкості детонації заряду ВР.

Таблиця 5.1

Швидкість кумулятивного струменя [10]

Параметри кумулятивної виїмки			Швидкість струменя, м/с	
Форма	Діаметр основи, мм	Кут конуса, 2α	Сталь	Алюміній
Полусфера	28,0		3000	6050
Конус	27,2	60	6500	7650
Конус	27,2	35	7300	8500
Конус	27,2	27	7400	9000
Гіпербола	27,2		9500	

Довжина каналу L , що пробивається кумулятивним струменем, зростає зі збільшенням початкової довжини струменя. Зростання довжини каналу L зі збільшенням відстані x_f (рис. 5.9) до перешкоди відбувається до певної межі (див. точка на кривій 2), яка відповідає фокусній відстані x_f , після чого починається зниження L .

Різке падіння пробивної дії при видаленні заряду від перешкоди пов'язано з переходом струменя в нестійкий стан, залежний від таких факторів, як великий градієнт швидкості за довжиною струменя, зменшення щільності струменя в процесі його руху, розширення струменя через опір повітря, викривлення струменя, несиметричність точки ініціювання заряду ВР.

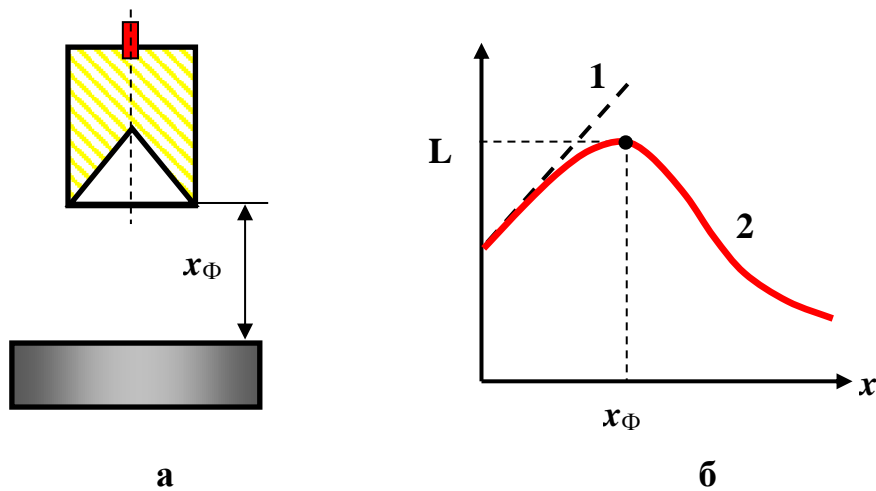


Рис. 5.9. Залежність глибини пробивання каналу кумулятивним струменем у перешкоді від відстані (б):

а – схема розміщення заряду; 1 – теоретична крива; 2 – експериментальна крива

Крім циліндричних кумулятивних зарядів у гірничій промисловості, в галузі машинобудування, при проведенні підривних робіт у міських умовах, у військовій справі та ін. використовують лінійні кумулятивні заряди, наприклад ЗКЛБ. Вони, зокрема, призначені для проведення підривних робіт при прямолінійному та фігурному різанні великогабаритних метало- та залізобетонних конструкцій (труби, листи, плити, профілі та інші конструкційні елементи), дробленні негабаритів.

5.2. Вибух відкритих зарядів ВР

У практиці гірничої справи підривання відкритих зарядів на повітрі здійснюється в окремих випадках – руйнування негабариту накладними зарядами, перебивання стійок у підземних умовах. При проведенні підривних робіт у міських умовах використовують відкриті заряди для перебивання металевих конструкцій, руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій, у машинобудуванні в процесах обробки матеріалів динамічним тиском – зміцнення і зварювання, компактування і різання металів, синтез надтвердих матеріалів (алмаз, нітрид бору) і в інших операціях. Підривання відкритих наземних зарядів ВР використовують у геофізиці, сільському господарстві (розпушування ґрунту) тощо.

При виконанні підривних робіт методом зовнішніх зарядів застосовують, як правило, потужні ВР (тротил, амоніт № 6-ЖВ тощо). Товщина заряду повинна

бути не менше критичного діаметра ВР. Іноді для полегшення роботи вибуху створюється ослаблений перетин масиву або конструкції (підпилювання, підрізування), що підривається.

Якщо заряд порошкоподібної ВР необхідно кріпити на поверхні предмета, то цей заряд повинен знаходитись у патронах з еластичної оболонки, яка при кріпленні легко повторює вигини, забезпечуючи щільне прилягання заряду. Хорошим матеріалом забійки для зовнішнього заряду служить шар піску, супісків, дерну тощо. Забійний матеріал не повинен містити твердих важких предметів (каменів, шматків металу тощо).

Якщо при підривних роботах виникає необхідність «використовувати декілька зовнішніх зарядів на одному об'єкті або на декількох об'єктах, що знаходяться поруч, заряди необхідно розміщувати так, щоб вибух одного з них не пошкодив сусідні. Якщо це неможливо зробити, підривання повинно проводитися тільки одночасно за допомогою електродетонаторів миттєвої дії або детонуючого шнура» [1].

Забороняється закривати заряд або детонуючий шнур важкими предметами – камінням, щебенем тощо.

У розділі 1.1 наведені математичні залежності для оцінки надлишкового тиску на фронті ударної хвилі в повітрі під час вибуху наземного (1.9) і повітряного (1.10) зарядів ВР залежно від маси заряду і відстані від заряду до точки вимірювання; надлишкового тиску на поверхні перешкоди при відбитті ударної хвилі (1.11) і час дії фази стиснення (1.12). Під час вибуху заряду ВР в повітрі утворюється ударна хвиля, тиск якої знижується з відстанню R^* (де $R^* = R/M_e^{1/3}$ – наведена відстань; $M_e = MQ/Q_{TNT}$ – маса тротилового еквівалента; M – маса заряду ВР; Q та Q_{TNT} – теплота вибухового перетворення одиниці маси даної ВР і заряду тротилу відповідно), рис. 5.10. Видно, що тиск в ударній хвилі при вибуху заряду на поверхні вище, ніж при вибуху вільного заряду в повітрі.

Під час вибуху в повітрі тиск в ударній хвилі на відстанях $10 - 12 r_3$ (r_3 – радіус заряду ВР) буде близько $50 \cdot 10^5$ Па і до відстаней приблизно $50 r_3$ тиск знижується пропорційно квадрату відстані, тобто $P \sim r_3^{-2}$ [10].

Запишемо кілька формул для розрахунку параметрів ударних повітряних хвиль, рекомендованих Г.І. Покровським [2].

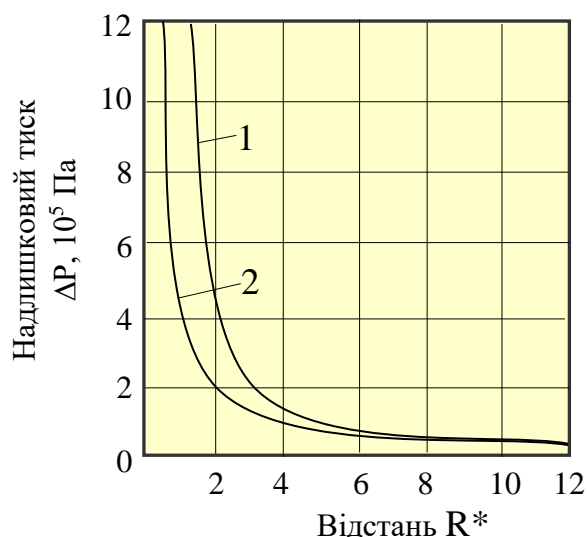


Рис. 5.10. Надлишковий тиск ΔP на фронті сферичної ударної хвилі в повітрі від відстані R^* : 1 – вибух на поверхні ґрунту; 2 – вибух у повітрі

Так, надлишковий тиск ΔP_{ϕ} зосередженого заряду в штольні, що має необмежену довжину і площу поперечного перерізу S , м², має таку формулу:

$$\Delta P_{\phi} = 10^5 \left(\frac{1,46q^{1/3}}{(SR)^{1/3}} + \frac{9,2q^{2/3}}{(SR)^{2/3}} + \frac{44q}{SR} \right), \text{ Па}, \quad (5.9)$$

а вибух такого ж заряду в глухому куті штольні спричинить тиск, величину якого можна знайти, використовуючи таку формулу:

$$\Delta P_{\phi} = 10^5 \left(\frac{1,81q^{1/3}}{(SR)^{1/3}} + \frac{14,6q^{2/3}}{(SR)^{2/3}} + \frac{88q}{SR} \right), \text{ Па}. \quad (5.10)$$

Якщо в повітрі підривають лінійний заряд WR , у якого довжина перевищує його радіус $L > 3r_3$, надлишковий тиск можна розрахувати, користуючись виразом:

$$\Delta P_{\phi} = 10^5 \left(\frac{1,06q^{1/3}}{LR^2} + \frac{4,3q^{2/3}}{LR^2} + \frac{14q}{LR^2} \right), \text{ Па}, \quad (5.11)$$

при цьому значення надлишкового тиску вибуху лінійного заряду на поверхні буде відрізнятися:

$$\Delta P_{\phi} = 10^5 \left(\frac{1,34q^{1/3}}{LR^2} + \frac{6,9q^{2/3}}{LR^2} + \frac{28q}{LR^2} \right), \text{ Па.} \quad (5.12)$$

Швидкість повітря за фронтом ударної хвилі можна оцінити з простого виразу:

$$u_{\phi} \approx 200\Delta P_{\phi}. \quad (5.13)$$

Визначення безпечних відстаней $R_{\text{без}}$ за дією повітряної ударної хвилі має важливе практичне значення. Для цього зазвичай використовують відому формулу [5]:

$$R_{\text{без}} \geq kM^{1/2}, \quad (5.14)$$

де k – коефіцієнт, значення якого наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Чисельні значення коефіцієнта k

Можливі руйнування	Положення заряду ВР	
	Відкритий заряд	Заряд, поглиблений на свою висоту
Руйнування скла, пошкодження рам, дверей, легких перегородок, штукатурки	5...8	2...4
Руйнування рам, дверей, перегородок, бараків, сараїв	2...4	1,1...1,9
Руйнування звичайних будинків, перекидання поїздів, пошкодження ліній електропередач	1,5...2,0	0,5...1,0

5.3. Вибух у воді

Під час підривання заряду у воді утворюються продукти вибуху, які мають початковий тиск, що в кілька раз перевищує тиск навколишнього середовища. У результаті цього в воді формується газова порожнина, подібно до того, як це відбувається в повітрі, проте вода надає значно більший опір газам вибуху. Зростаючи з високою швидкістю, гази створюють у воді ударну хвилю, тиск якої для звичайних ВР сягає не менше $200 \cdot 10^8$ Па. Розширення пузиря відбувається до моменту вирівнювання тиску газів з гідростатичним тиском (момент рівноваги), але ще деякий час розширення триває до зупинки стінок пузиря. У цьому випадку тиск газів у пузирі буде менше, ніж у воді, тому газовий пузир почне стискатися, знову проходячи момент рівноваги. Таким чином, пульсуючи, пузир переміщається до поверхні й спливає. Стінка, що утворилася на поверхні води купола, лопається, розкидаючи воду. Після цього в момент утворення воронки і її схлопування формується кумулятивний струмінь води, який піднімається у вигляді стовпа води.

При рівній загальній енергії ударних хвиль у повітрі й воді більші початкові тиски ударних хвиль у воді зумовлені тим, що в порівнянні з повітрям вода має значно меншу здатність стискатись і невелике зростання температури. Якщо уявити воду як газ високої щільності, ударну хвилю можна розглядати, виходячи з тих же закономірностей, які характерні для ударних хвиль у повітрі.

Стовп води, що виходить на поверхню, іноді називають «султаном». Це явище аналогічно тому, яке ми часто спостерігаємо при падінні краплі на поверхню води, рис. 5.11.

На рисунку показані три основні стадії падіння краплі в воду. На першій стадії поверхня води прогинається (рис. 5.11, а), на другій – крапля занурюється в воду і при цьому утворюється повітряний пузир (рис. 5.11, б). У результаті схлопування порожнини виникає струмінь, який виривається на поверхню (рис. 5.11, в).

З моменту утворення ударної хвилі тиск з відстанню різко падає ($P \sim r^{-3}$) і на відстані $\sim 10 r_3$ надлишковий тиск становить усього $\Delta P \approx 0,01 \cdot P_H$. Сильні руйнування в воді проявляються в межах газового пузиря.

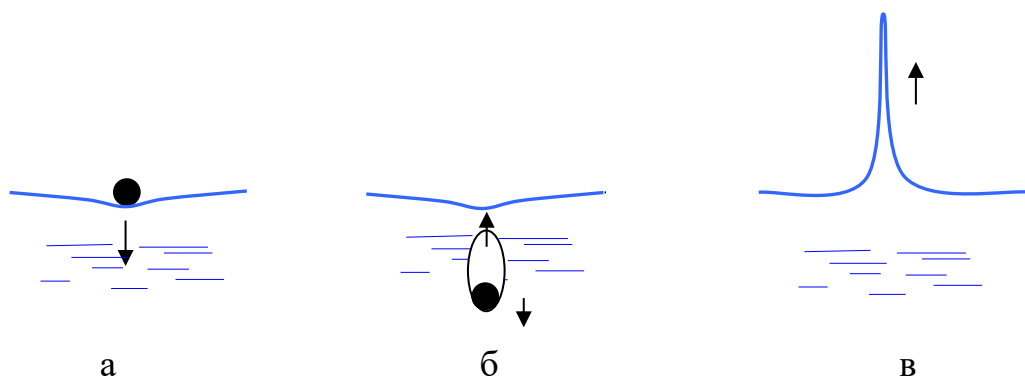


Рис. 5.11. До механізму утворення кумулятивного водяного струменя при падінні краплі (або іншого тіла) на поверхню води

Дія вибуху в воді залежить від глибини занурення заряду і це, як писав Г. Покровський, «...відповідає загальним уявленням про дію вибуху при наявності забійки, якою в даному випадку є шар води над зарядом ВР».

З урахуванням того, що початкова щільність води в 10000 разів більше ніж повітря, розрахунок надлишкового тиску на фронті ударної хвилі у воді запропоновано [2] проводити за формулою:

$$\Delta P_{\phi} = 10^5 \left(\frac{391(Kq)^{1/3}}{R} + \frac{58(Kq)^{2/3}}{R^2} + \frac{7Kq}{R^3} \right), \text{ Па}, \quad (5.15)$$

де K – тротильовий еквівалент, $K = Q_{\text{ВР}} / Q_{\text{ТНТ}}$; $Q_{\text{ВР}}$ – питома енергія даної ВР (Дж/кг); $Q_{\text{ТНТ}}$ – питома енергія тротила, (Дж/кг); R – відстань (або глибина) до точки спостереження, м; q – вага заряду ВР, кг.

Якщо вибух здійснюється при підриванні тротилу, то у формулі (5.15) виключають тротильовий еквівалент. Однак на практиці (5.15) використовується рідко. Найчастіше в розрахунках застосовують формулу Р. Коула, яка дає найбільш точні результати для відстаней (10 – 900) гз:

$$\Delta P_{\phi} = 533 [(q^{1/3} / R)]^{1.13}. \quad (5.16)$$

Результати розрахунку ΔP_{ϕ} за формулам (5.15) і (5.16) збігаються у діапазоні тиску від 10^6 до 10^9 Па. Однак найбільш точний розрахунок тиску в кожній точці води рекомендується проводити, використовуючи такий вираз:

$$P(t) = \Delta P_{\phi} \exp(-t/\Theta), \quad (5.17)$$

де t – час (на практиці обирають не більш $t = 5 \Theta$); Θ – стала часу (час, протягом якого тиск $P(t)$ знижується в e раз), яку знаходять за формулою:

$$\Theta = 10^{-4} q^{1/3} (R/q^{1/3})^{0,16}, \text{ с.} \quad (5.18)$$

Ударна адиабата води в діапазоні тиску $(1 \dots 450) \cdot 10^8 \text{ Па}$ подана в координатах P - v на рис. 5.12.

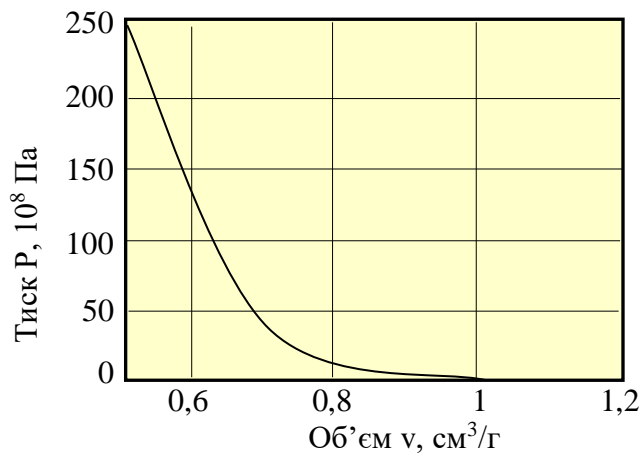


Рис. 5.12. Ударна адиабата води [10]

При проведенні підривних робіт у воді найбільшою небезпекою для риби і підводних споруд є ударна хвиля, локалізація якої здійснюється за допомогою бульбашкових загороджувачів на шляху їх поширення. Для розрахунку радіуса безпечних R_6 і летальних R_L відстаней обчислення проводять з використанням виразів:

$$R_6 = K_6 q^{1/3}, \quad R_L = K_L q^{1/3}, \quad (5.19)$$

де K_6 та K_L – коефіцієнти, які знаходять за табл. 5.3.

Коефіцієнти K_b і K_d , які залежать від параметрів ударних хвиль у воді

Вид риби	Коефіцієнти		Параметри вражаючої ударної хвилі		Діапазон досліджених мас зарядів ВР, кг
	K_d	K_b	Тиск, кгс/см ²	Імпульс, кгс·с/м ²	
Атерина	27	45	5...7	20...24	9...26
Тарань	17	22	12...17	43...55	9...52
Бичок	1,1	5	44...65	282...317	10...20
Осетрові	–	11,5	18...22	127...137	10...20
Сазан	7	12	16...27	74...158	2...50

5.4. Дія вибуху в ґрунтах

Ґрунт є середовищем, що складається з твердих частинок, рідкої або / та газової фаз. Наявність повітря в порах ґрунту сильно впливає на умови поширення в них ударних хвиль. При поширенні ударної хвилі енергія вибуху витрачається на зближення твердих частинок за рахунок зменшення обсягу пор, при цьому розігрів повітря в ударній хвилі призводить до підвищення температури твердих частинок (витрачається ~ 90 % енергії ВР). Зона ущільнення буде у багато разів більше зони ущільнення в слабопористих ґрунтах.

Руйнування ґрунту відбувається головним чином за рахунок запасу кінетичної енергії, придбаної середовищем при розширенні продуктів вибуху (руйнування під дією хвиль напружень у ґрунтах незначні). Навколо заряду при вибуху в піску утворюється сферична порожнина (рис. 5.13, а) радіусом, що сягає 10 гз, заповнена газами вибуху. Розширюючись (рис. 5.13, б, в), вона при наближенні до відкритої поверхні набуває грушоподібної форми, велика вісь якої збігається з ЛНО заряду. У цілому механізм і розвиток порожнини в ґрунтах і в воді мало відрізняються один від одного.

Зміна форми порожнини пояснюється різним опором, що виникає під час переміщення ділянок масиву. У нижній частині порожнини розширення швидко припиняються, у той час як розміри верхньої частини порожнини збільшуються, зменшуючи товщину шару ґрунту, що піднімається над порожниною. Таким чи-

ном, верхня частина порожнини швидше збільшується в об'ємі порівняно з нижньою, набуваючи «грушоподібної форми», рис. 5.13, г. У момент, близький до кінця процесу, товщина ґрунту (оболонка) над верхньою частиною порожнини зменшується, рис. 5.13, д, зменшуються і сили зчеплення між частинками середовища. Надалі оболонка проривається у верхній частині, рух породи відбувається за рахунок балістичного польоту окремих частинок – в ґрунті утворюється воронка, рис. 5.13, е, ж.

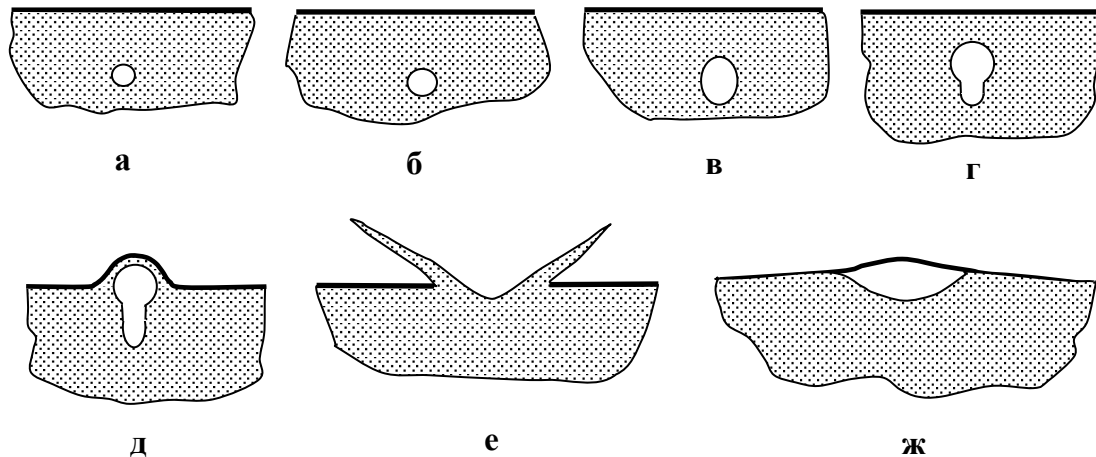


Рис. 5.13. Послідовність фаз руху ґрунту

Експериментальні дані показують, що тиск в ударній хвилі, що розповсюджується в ґрунті, сильно залежить від пористості ґрунту, тобто від кількості повітря. У насиченому піску в порівнянні з сухим піском тиск в 50 – 70 разів вище. У водонасичених ґрунтах енергія передається переважно водою. Тому дія вибуху в таких ґрунтах за своїм характером, як і під час вибухів у воді, близька до гідростатичного тиску, спрямованого однаково на всі боки.

У неводонасичених (сухих) ґрунтах, так само як і в твердих тілах, напружений стан у кожній точці визначається двома величинами – радіальним (σ) і тангенціальним (τ) напруженнями. Характер залежності деформації ґрунту ϵ від напруги σ показаний на рис. 5.14.

Ударне стиснення ґрунту (σ) (як і будь-якого пористого середовища) створює незворотні об'ємні деформації (ϵ), тому криві навантаження і розвантаження не збігаються, рис. 5.14. Після розвантаження щільність ґрунту виявляється більше первісної. Нагадаємо, що в воді та повітрі за рахунок нагріву (незворотних

втрат енергії ударної хвилі) щільність після розвантаження завжди менше первісної.

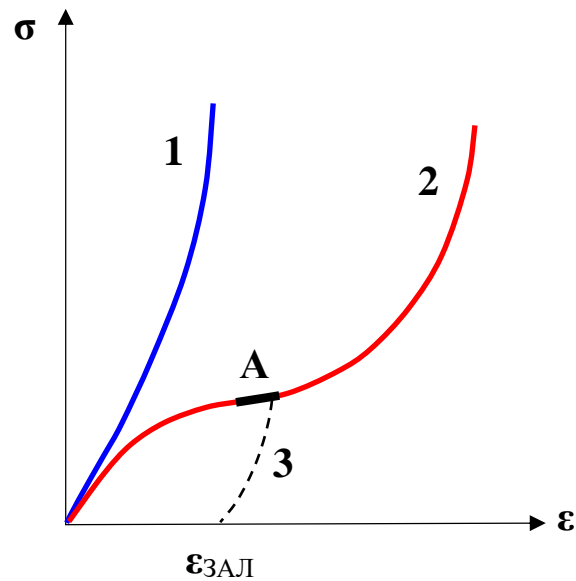


Рис. 5.14. Залежність деформації ґрунту від напруження:

1 – водонасичений ґрунт; 2 – неводонасичений ґрунт; 3 – крива розвантаження після вибуху (зберігається залишкова деформація); А – ділянка зміни знака кривизни $\sigma(\epsilon)$

Після обробки наявних результатів промислових вибухів і даних експериментальних досліджень фахівцями отримана емпірична формула для радіуса камуфлетної порожнини [10]:

$$R_K = \psi M_K^{1/3}, \text{ м}, \quad (5.20)$$

де ψ – коефіцієнт, величина якого залежить від типу ґрунту: для леса $\psi = 0,35$, водонасиченого піску та глини $\psi = 0,6 \dots 0,7$, суглинку $\psi = 0,445$; M_K – маса камуфлетного заряду ВР, кг.

Радіус сфери стисання при камуфлетному вибуху оцінюють, використовуючи вираз:

$$R_{CC} = 0,062 (aM_K)^{1/3}, \quad (5.21)$$

де a – коефіцієнт прострілення, що враховує властивості порід, наприклад, для глини $a = 250$, для ґрунтів середньої щільності $a = 150$.

При деформації ґрунту, сили зчеплення між частинками значно менше сил сухого тертя між частинками, тому для ґрунту справедлива умова граничного стану Кулона:

$$\tau_m = K + p \operatorname{tg} Q,$$

де τ_m – дотичне напруження; K – коефіцієнт зчеплення; p – середнє напруження; $\operatorname{tg} Q$ – коефіцієнт внутрішнього тертя; Q – кут внутрішнього тертя.

Для пластичного середовища $\tau_m = K$ при внутрішньому терті $\operatorname{tg} Q \approx 0$.

Нехай частка твердої фази в різних трикомпонентних ґрунтах становить γ_1 , води γ_2 і повітря γ_3 . Щільність ґрунту буде записана формулою:

$$\rho_0 = \gamma_1 \rho_1 + \gamma_2 \rho_2 + \gamma_3 \rho_3 \quad (\text{де } \rho_2 = 1 \text{ г/см}^3; \rho_3 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3).$$

Коефіцієнт пористості ґрунту $\Pi = (\gamma_1 + \gamma_2) / \gamma_1$. Наведемо значення коефіцієнта пористості для деяких ґрунтів: $\Pi = 0,2 \dots 0,35$ (для піску), $\Pi = 0,5 \dots 0,7$ (для глини), $\Pi = 0,4 \dots 0,5$ (для крейди) [10].

Якщо глибину закладення камуфлетного заряду $ВР$ знижувати, переміщаючи його до поверхні, то на сферичну зону руйнування буде накладатися воронка розпушування. Наближаючи заряд до поверхні, частина ґрунту буде викинута, у результаті чого утвориться заглиблення в ґрунті (у глинах утворюються найдрібніші воронки).

В.В. Даниленко в монографії [10] наводить коротку історію про перші спроби розрахунків вибухів на викид, зроблену французькими інженерами.

Де Вілю припустив, що маса заряду $ВР$ пропорційна глибині його закладення (W – ЛНО), а С. Вобан вважав, що маса заряду пропорційна обсягу ґрунту, що викидається вибухом. Поняття показника дії вибуху ввів Б. Белідор, який спостерігав, як при постійній глибині закладення з підвищенням маси $ВР$ збільшуються глибина і розкриття воронки. Пізніше російський інженер М.М. Боресков встановив, що маса заряду $ВР$ пропорційна обсягу воронки (W^3) і залежить від властивостей ґрунту. Боресковим запропонована формула розрахунку маси заряду на викид (формула):

$$M = kW^3(0,4 + 0,6 n^3), \quad (5.22)$$

де k – коефіцієнт, що визначає кількість ВР, яка необхідна для викиду 1 м^3 ґрунту. Якщо використовується тротил або амоніт, то значення k складе для: глини – $1 \dots 1,3$; сухого піску – $0,5 \dots 1,7$; вологого піску – $1,2 \dots 1,3$.

5.5. Вибух заряду в скельному монолітному масиві

Механізм руйнування скельної монолітної породи вибухом зосередженого заряду ВР принципово відрізняється від механізму дії вибуху в ґрунтах. У скельній породі поблизу заряду під дією ударної хвилі та високої температури продуктів вибуху утворюється зона сильно деформованої породи, яку називають **зоною стиснення** або **подрібнення**, рис. 5.15.

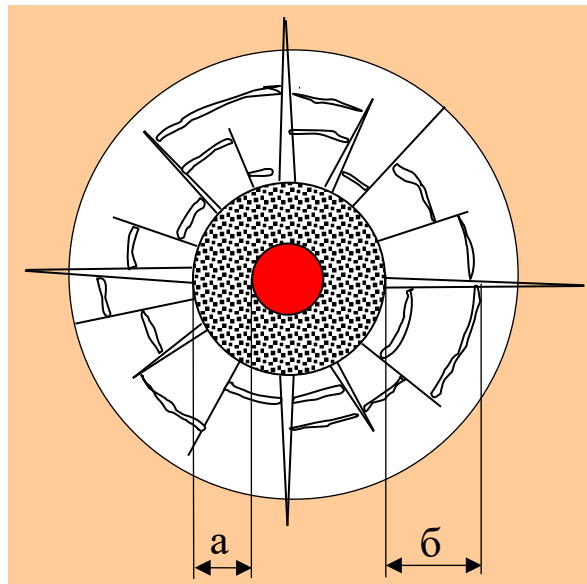


Рис. 5.15. Схема розподілу тріщин у породі навколо місця вибуху (за Г.І. Покровським): а – зона стиснення (подрібнення); б – зона розпушення

У міру віддалення від заряду напруження в хвилі стиснення швидко зникають і на певній відстані стають менше опору породи раздавлюванню, змінюється характер деформації, що призводить відповідно і до зміни характеру руйнування середовища. Під дією прямої хвилі напружень, що розповсюджуються від заряду ВР, у породі в радіальному напрямку виникають сильні стискаючі напруження, а в тангенціальному – розтягуючі, що забезпечують появу радіальних тріщин. У результаті такої дії в породі порушується чітка будова і вона розпадається на окремі шматки. Цю зону називають **зоною розпушення**.

У шарах більш віддалених від заряду ударна хвиля перетворюється в пружну хвилю, розтягуючі та тангенціальні напруження зменшуються і стають менше величини опору породи розтягуванню, зв'язок між частинками середовища не порушується – мають місце лише коливальні зміщення частинок. Руйнування породи прямою дією хвилі за межами цієї відстані не відбувається. Сильно стиснута порода зміщується в бік центру заряду і ділянки породи, прилеглі до порожнини, відчують напруження розтягування в радіальному напрямку: в породі з'являються кільцеві тангенціальні тріщини. Ця область називається **зоною струсу**.

Між зонами подрібнення, розпушування та струсу немає чітких меж. Кожна з названих зон плавно переходить одна в одну і в цілому їх називають **зоною руйнування**. Радіус зони руйнування залежить від величини заряду і характеристик ВР. Очевидно, що чим більше заряд і його потужність, тим більше **радіус дії вибуху**.

Під час вибуху заряду поблизу відкритої поверхні частинки середовища під впливом хвилі напружень, що досягла цієї поверхні, починають вільно переміщатися в її бік, залучаючи до цього процесу все більш віддалені ділянки середовища. Хвиля напружень, дійшовши до поверхні, відбивається, і в масиві виникають напруження розтягу, рис. 5.16. При цьому хвиля розтягування, що розповсюджується в масив, являє собою фронт, який поширювався б від уявного заряду ВР такої ж маси, але що знаходиться над поверхнею на відстані, що дорівнює ЛНО реального заряду.

У бік породного масиву руйнування не поширюються на помітні відстані, оскільки хвилі розрідження тут немає і порода відчуває тільки всебічне стиснення.

Для ряду інженерних розрахунків про дію вибуху в різних середовищах суттєве значення мають параметри ударних хвиль у ближній зоні на кордоні розділу заряд-середовище, табл. 5.4.

Аналіз показує, що під час вибуху одиночного заряду в зарядній камері виникає складна картина напружень, при поширенні яких можливі такі системи руйнувань, як утворення радіальних тріщин, викликаних дією розтягуючих напружень у падаючій хвилі та поширюваних від заряду в глиб масиву; руйнування у відкритій поверхні, викликані дією відбитої хвилі напружень і які поширюються у бік заряду; руйнування концентричними тріщинами навколо заряду, викликані рухом середовища за відбитою хвилею (також у бік заряду).

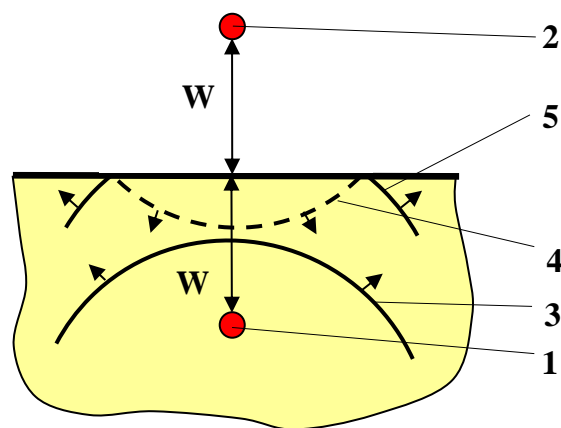


Рис. 5.16. Схема утворення відбитої хвилі біля відкритої поверхні:

- 1 – реальний заряд ВР; 2 – уявний заряд ВР;
 3, 5 – прямі хвилі стиснення; 4 – відбита хвиля стиснення

Таблиця 5.4

**Параметри ударних хвиль при вибуху тротилу в гірських породах
 (за даними В.Г. Хотіна)**

Показники	Граніт	Мармур	Вапняк	Граніт	Мармур	Вапняк
Щільність заряду, т/м ³	1,6	1,6	1,6	1,32	1,32	1,32
Тиск за фронтом хвилі детонації, Па·10 ⁹	18	18	18	12,6	12,6	12,6
Тиск на межі розділу, Па·10 ⁹	25	23,7	18,5	19,1	17,8	14,2
Швидкість ударної хвилі в середовищі, м/с	7280	7060	6670	7130	6750	6450
Швидкість руху середовища на межі розділу, м/с	1290	1220	1315	1005	980	1115

Механізм руйнування гірських порід вибухом багато в чому залежить від їх фізико-механічних властивостей. На цій підставі гірські породи поділяються на три групи. До першої групи належать міцні породи з високою акустичною жорсткістю. Руйнуються вони в основному в результаті дії відбитих від відкритої

поверхні хвиль. До другої групи належать породи середньої міцності та тріщинуваті, які руйнуються від дії прямих і відбитих хвиль; до третьої – слабкі породи, що руйнуються головним чином під безпосереднім впливом газів на стінки зарядної камери.

Пізніші дослідження показали, що механізм руйнування гірських порід дією вибуху залежить не тільки від фізико-механічних властивостей порід, конструкції заряду і фізичних характеристик ВР, але і від величини вибухового імпульсу. Як показали дослідження, збільшення імпульсу без збільшення маси заряду знижує витрату вибухової речовини на 1 м³ зруйнованої породи.

У практиці буропідривних робіт застосовують кілька **способів збільшення імпульсу**:

– **короткоуповільнене підривання зарядів** у групі й частин окремого заряду;

– **створення повітряних порожнин** між частинами заряду в свердловині або в камері; з досвіду відомо, що при об'ємі повітря, який займає 40 – 50 % об'єму камери камуфлетного заряду, порожнина вибуху збільшується до 30 %, а об'єм воронки викиду зростає в 1,5 – 2,5 рази. Використовуються також водяні проміжки;

– **збільшення ширини зони хімічної реакції ВР** – для цієї мети використовують гранульовані та водонаповнені ВР (акватол, іфзаніти); ідея полягає в тому, щоб збільшився час тепловиділення (у цьому випадку імпульс розтягується в часі);

– **зміна форми заряду ВВ** – під час вибуху двох зарядів з рівною питомою масою – подовженого і зосередженого, встановлених на однаковій глибині, вибух подовженого заряду дасть ущільнену зону в 1,5 – 2,0 рази більшу, ніж сферичного. Як стверджує професор О.О. Вовк, цей результат має важливе значення при будівництві каналів і водойм, що пояснюється можливістю зниження фільтрації води в 10 – 20 разів.

5.6. Вибух заряду в тріщинуватому скельному масиві

Особливістю руйнування тріщинуватих порід є поєднання двох механізмів: під діями газів вибуху і хвиль напружень (руйнування поширюються від за-

ряду ВР і відкритої поверхні масиву назустріч один одному). Під час вибуху заряду в породі навколо порожнини, утвореної вибухом, розташовується зона руйнувань.

Тріщини є поверхнями поділу, що перешкоджають поширенню хвиль напружень і руйнувань породи за межами зони, яка обмежена цими тріщинами. При перетині тріщини відбувається стрибкоподібне падіння напруг хвилі, обумовлене частковим її відбиттям від поверхні тріщини. Якісна картина залежності характеру зміни напружень при перетині тріщин пружною хвилею наведена на рис. 5.17.

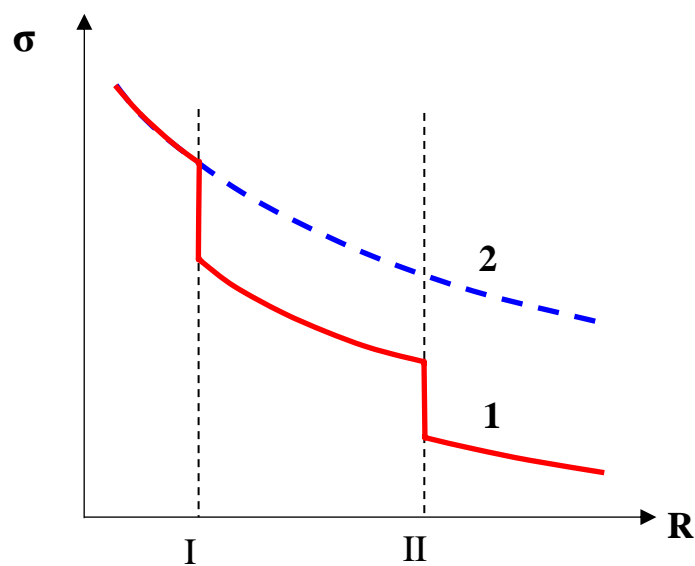


Рис. 5.17. Графік зміни величини напружень σ на різних відстанях від місця вибуху в тріщинуватому (1) і монолітному масивах (2):

I, II – площини тріщин у масиві

З цього рисунка видно, що напруження при переході через тріщини знижуються стрибком і в цілому зниження відбувається більш інтенсивно, ніж в монолітному масиві. За межами тріщин порода руйнується головним чином під дією механічного зіткнення шматків породи (зруйнованої навколо заряду) з іншим об'ємом руйнування. Таким чином, в тріщинуватому масиві породи під дією прямих і відбитих хвиль створюється кілька зон руйнування.

5.7. Деякі закономірності взаємодії групи зарядів

Взаємодії між зарядами, як правило, вивчають з використанням оптично активних і прозорих моделей при швидкісній зйомці розвитку процесу. Експериментально показано, що до моменту зустрічі хвиль напружень середовище навколо кожного заряду поводить себе так, як ніби стався вибух одиночного заряду, а потім виникає складна картина інтерференції хвиль напружень з помітною різницею в інтенсивності дроблення середовища по лінії, що з'єднує заряди, і в напрямку ЛНО. При зустрічі хвиль напружень від сусідніх зарядів загальний напружений стан середовища різко змінюється: у напрямку, перпендикулярному до лінії, що з'єднує сусідні заряди, діють збільшені в порівнянні з одиночним підриванням розтягуючі напруження, що викликають у цьому напрямку посилену дію вибуху й утворення магістральної тріщини, рис. 5.18. Поява тріщини обумовлена розтягуючими напруженнями, викликаними відбитими хвилями. У цій зоні порода піддається найменшому дробленню, рис. 5.19.

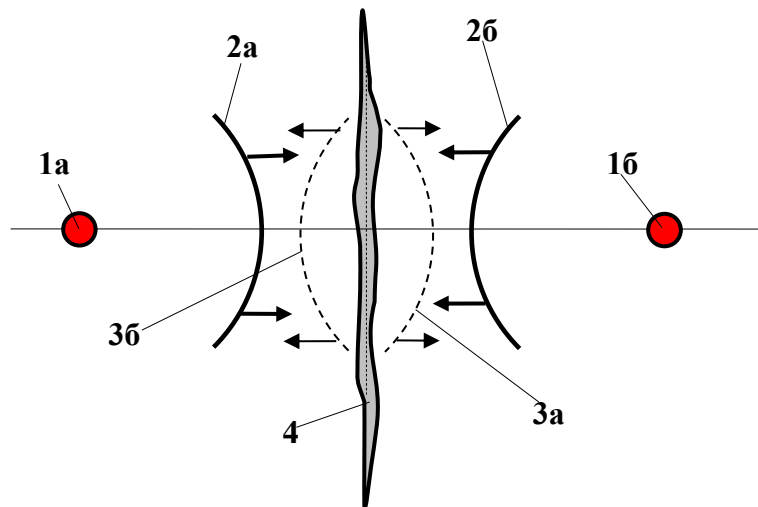


Рис. 5.18. Взаємодія двох зосереджених зарядів ВР:

1а, 1б – заряди ВР; 2а та 2б – прямі хвилі напружень, що розповсюджуються від зарядів 1а та 1б відповідно; 3а і 3б – хвилі, відбиті після "лобового" зіткнення хвиль стиснення 2а і 2б; 4 – магістральна тріщина

В об'ємах породи в глибині масиву, що підривається, існують зони, у яких відбувається взаємна компенсація напружень, що з'являються в масиві від сусідніх

зарядів, і загальне ослаблення напруженого стану, рис. 5.20. У таких зонах порода піддається найменшому дробленню.

Зони **зниженої подрібнюваності** порід (як і зони переподрібнення) є небажаним результатом ведення підривних робіт. Завдання максимального зменшення розмірів таких зон вирішується шляхом збільшення коефіцієнта зближення свердловин, зменшення діаметра свердловин і різночасним підриванням зарядів ВР.

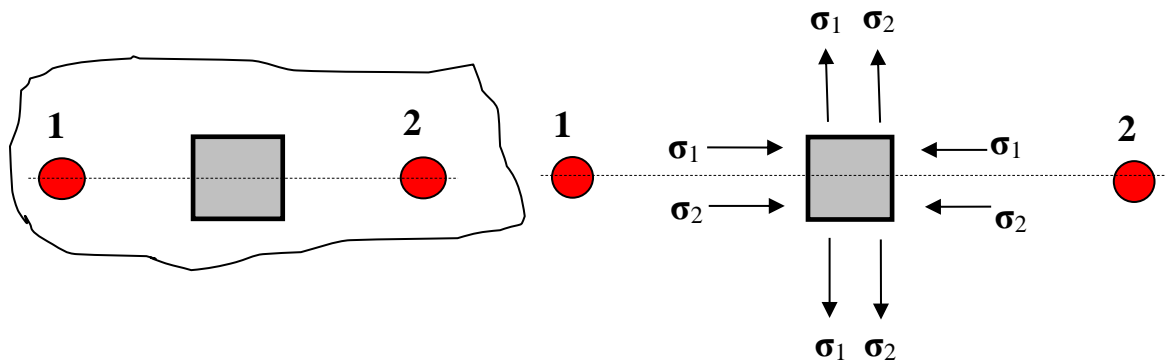


Рис. 5.19. Схема напруженого стану масиву при одночасному підриванні двох зарядів ВР: $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$

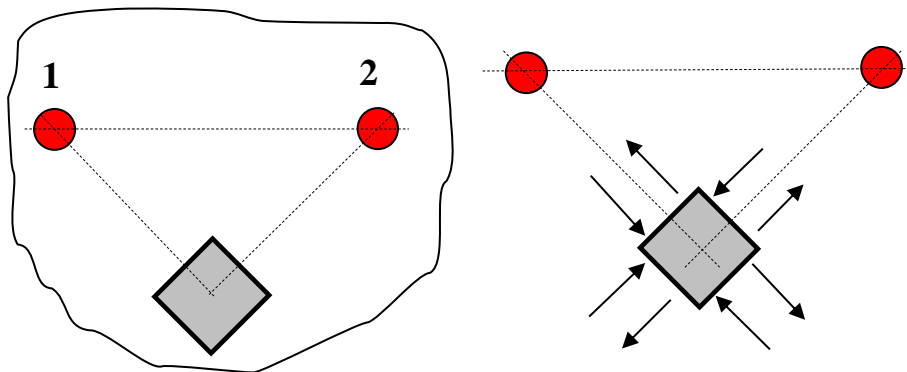


Рис. 5.20. Схема напруженого стану масиву із взаємною компенсацією напружень при одночасному підриванні двох зарядів ВР: $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$

5.8. Руйнування порід короткоуповільненим підриванням (КУП)

Короткоуповільненим називається підривання серій або окремих зарядів з інтервалами в тисячні частки секунди. Цей спосіб підривання називають іноді

мілісекундним. Короткоуповільнене підривання вперше було застосовано інженером Берліним у 1934 – 1935 рр. Промислове застосування його за кордоном (США, Канада і Великобританія) розпочалося після 1945 року, в СРСР – після 1955 р.

Основні фактори, що визначають ефективність короткоуповільненого підривання :

- інтервал уповільнення;
- послідовність руйнування ділянок масиву.

Перераховані параметри застосовуються залежно від властивостей гірських порід, схеми розташування зарядів і завдання вибуху. При КУП відбувається не тільки взаємодія вибухів сусідніх зарядів, але і суміжних серій. Ефективність руйнування при КУП визначається такими факторами:

- інтерференцією хвиль напружень від сусідніх зарядів (досягається при малих інтервалах уповільнень);
- утворенням додаткових відкритих поверхонь (при середніх інтервалах уповільнень);
- зіткненням шматків руйнованого масиву під час вибуху сусідніх зарядів (при великих інтервалах уповільнень).

Перераховані фактори є складовими елементами єдиного процесу взаємодії зарядів при уповільненому підриванні.

Інтерференція хвиль напружень, рис. 5.21, відбувається в тому випадку, коли напрямки зміщення частинок від попереднього вибуху збігаються, при цьому збільшуються сумарні зміщення, напруження та інтенсивність руйнування масиву.

Хвиля напружень 1 від заряду Q_1 поширюється до відкритої поверхні та, відбиваючись від неї, утворює відбиту хвилю розтягування 2, яка поширюється вглиб масиву, як від уявного заряду $BP Q_1^1$. Вибух другого заряду Q_2 повинен бути проведений у момент, коли хвиля розтягнення 2 від першого заряду перетинає місце розташування другого заряду BP . У цьому випадку полегшується дія заряду 2 і збільшується ефект руйнування породи. Досвідом установлено, що найбільш ефективне спрацювання зарядів 2 відбувається в разі, коли має місце збіг між часом підриву заряду 2 і моментом перетину місця розташування цього заряду хвилею розтягування, або коли вони відрізняються не більше ніж на 0,1 мс.

Зі збільшенням числа відкритих поверхонь до 2 – 3-х, рис. 5.22, у заряді, що підривається, об'єм руйнування збільшується приблизно пропорційно їх кількості.

Дроблення породи супроводжується збільшенням її початкового об'єму при зсуві вбік відкритих поверхонь. Ширина простору між порушеною і непорушеною частинами масиву повинна бути пропорційна ЛНО і коефіцієнту розпушення даної породи. Необхідна ширина простору (за експериментальними даними) для отримання відкритої поверхні повинна бути в межах $(1/10 - 1/30)W$.

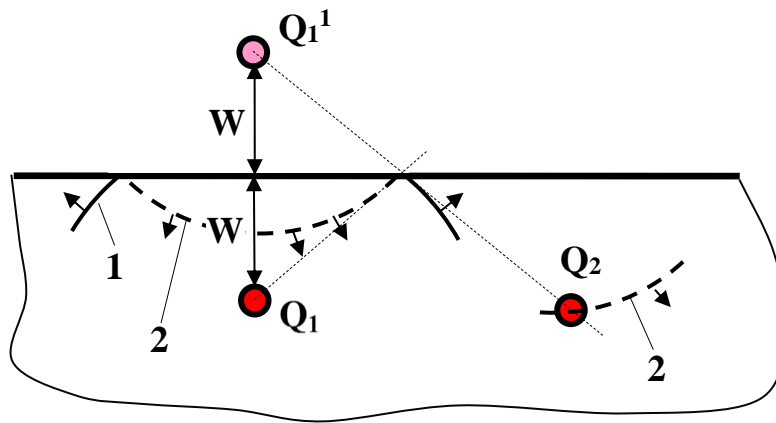


Рис. 5.21. Схема інтерференції хвиль напружень при КУП сусідніх зарядів:
 1 – хвиля напружень; 2 – відбита хвиля; Q_1, Q_2 – заряди ВР;
 Q_1^1 – уявний заряд ВР

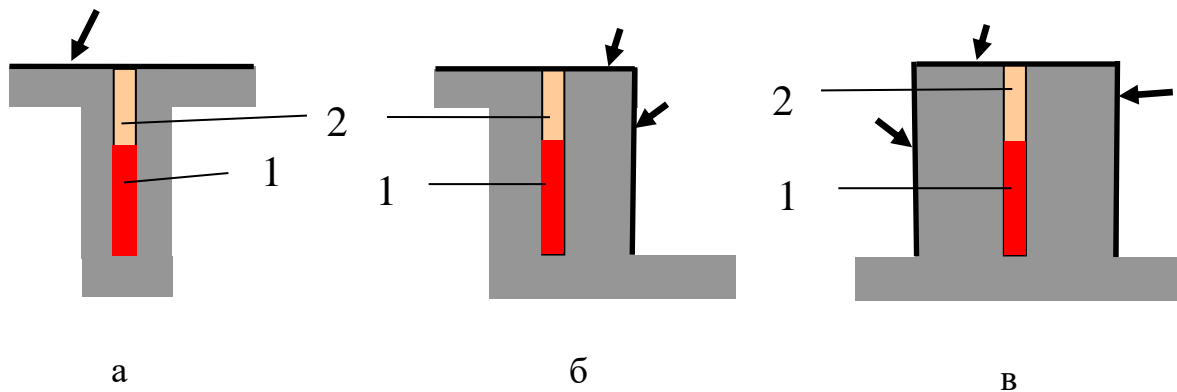


Рис. 5.22. Схеми розташування зарядів при одній (а), двох (б) та трьох (в) відкритих поверхнях: 1 – заряд ВР в шпурі (свердловині); 2 – забійка; стрілками показані відкриті поверхні

Схема руйнування масиву при утворенні додаткових поверхонь наведена на рис. 5.23. Розрахунковий інтервал уповільнення в цьому випадку повинен

бути в межах 25...75 мс. Зі збільшенням міцності порід інтервал уповільнення зменшується.

Зіткнення шматків породи, що переміщуються в результаті вибуху, зумовлено тим, що різні ділянки масиву під час вибуху мають різні швидкості й напрям руху. При зіткненні шматків відбувається їх додаткове дроблення. Досвід показує, що якість дроблення породи суттєво покращується, якщо траєкторії розльоту шматків породи перетинаються під кутом 90° .

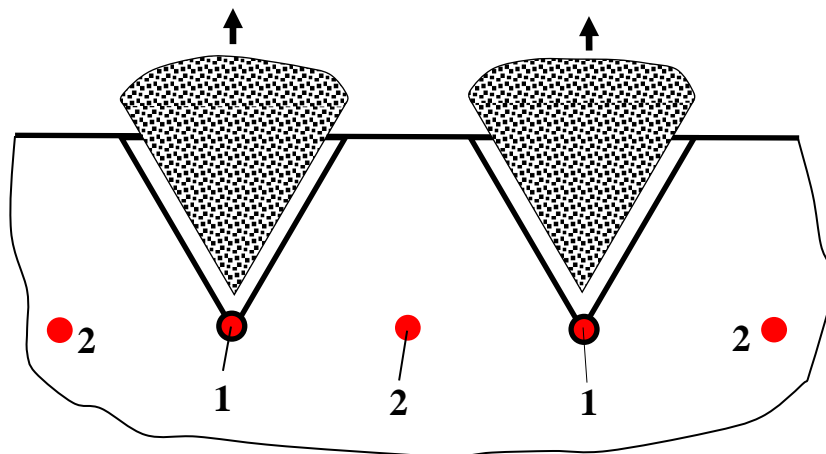


Рис. 5.23. Схема руйнування масиву під час утворення додаткових відкритих поверхонь короткоуповільненим підриванням:
1,2 – заряди ВР першої та другої черги підривання відповідно

При короткоуповільненому підриванні процес руйнування масиву зарядами першої черги проходить так само, як і в результаті дії одиночного заряду ВР. Під час вибуху групи зарядів другої та наступних черг з малими інтервалами уповільнень у масиві виникає складна картина інтерференції хвиль напружень. Час, протягом якого масив знаходиться в напруженому стані, збільшується, відбувається зменшення сейсмічного ефекту дії вибуху на навколишні споруди.

Однією з способів КУП є підривання з мілісекундними сповільнювачами окремих частин зарядів у свердловинах, що дозволяє збільшити імпульс дії вибуху на масив. У результаті цього досягаються кращі показники вибуху з дроблення масиву і сейсмічної дії.

Питання для самоконтролю знань

1. Які бувають заряди ВР за формою?
2. Як розрізняють заряди ВР за розміщенням і конструкцією?
3. Які бувають заряди ВР за характером дії на середовище?
4. Кумулятивний заряд і особливості його дії на середовище. Наведіть приклад використання кумулятивного ефекту в засобах висадження.
5. Основні елементи воронки викиду і поняття показника дії вибуху.
6. Який параметр вважається найбільш чутливим до зміни умов підривання по породі з коефіцієнтом міцності за М.М. Прододряконовим більше 12?
7. Які основні способи зміни характеру дії на середовище вам відомі?
8. Розкрийте особливості дії вибуху в ґрунтах?
9. У чому полягають відмінності дії вибуху в скельному монолітному масиві від дії вибуху в ґрунтах?
10. Особливості механізмів руйнування тріщинуватого скельного масиву.
11. Особливості взаємодії групи зарядів.
12. Який спосіб підривання називають короткоуповільненим або мілісекундним?
13. Назвіть чинники, що визначають ефективність уповільненого підривання.
14. Як використовується на практиці інтерференція хвиль напружень при здійсненні способу уповільненого підривання ?
15. Які переваги дають додаткові відкриті поверхні та яким способом досягають їх утворення?

Список рекомендованої літератури

1. Матвейчук В.В. Взрывное дело (Внимание, взрыв): учебно-практическое пособие / В.В. Матвейчук. – Москва: Академический проект, 2005. – 512 с.
2. Покровский Г.И. Взрыв / Г.И. Покровский. – Москва: Недра, 1980. – 190 с.
3. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – Москва: Недра, 1988. – 358 с.

4. Норов Ю.Д. Буровзрывные работы на открытых разработках: учебник / Ю.Д. Норов, П.А. Шеметов. – Навоий: НГГИ, 2007. – 237 с.
5. Руйнування гірських порід вибухом / М.Р. Шевцов, П.Я. Таранов, В.В. Левіт, О.Г. Гудзь. – Донецьк: Лебідь, 2003. – 272 с.
6. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом (взрывные технологии в промышленности) / Б.Н. Кутузов. – Москва: Изд-во Москов. гос. горн. ун-та, 1994. – 448 с.
7. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13 : затв. М-вом енергетики та вугіл. пром-сті України 12.06.2013. – Луганськ : ЛЕТЦ, 2013. – 194 с.
8. Соболев В.В. Технологія та безпека виконання вибухових робіт. Практикум: навч. посіб. / В.В. Соболев, І.І. Усик, Р.М. Терещук. – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – 154 с.
9. Коул Р. Подводные взрывы / Р. Коул. – Москва: Изд-во иностр. лит., 1955. – 531 с.
10. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология / В.В. Даниленко. – Москва: Энергоатомиздат, 2010. – 784 с.

6. ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК

У розділі наведено підривні технології проведення виробок та видобутку вугілля, особливості підривних робіт при проведенні виробок по викидонебезпечних пластах, вимоги до поводження з ВМ під час підривних робіт у підземних умовах.

Спираючись на матеріал розділу та довідкову літературу, студент повинен уміти:

- вибирати технологію виконання підривних робіт та організувати проведення виробок та видобуток вугілля залежно від гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов;*
- вибирати технологію виконання підривних робіт та організувати проведення виробок по викидонебезпечних пластах;*
- розраховувати та складати паспорт буропідривних робіт;*
- вибирати та організувати роботи з ліквідації зарядів, що відмовили;*
- вибирати заходи з техніки безпеки при підривних роботах.*

Під час проведення підривних робіт у вугільних шахтах в основному використовуються шпурові заряди. Послідовність операцій: у масиві по забою бурять шпури, у шпури поміщають заряд ВР, забійку, потім монтують підривну мережу і підривають заряди із заданою черговістю відповідно до затвердженого паспорта буропідривних робіт.

6.1. Підривання шпуровими зарядами ВР

Шпуром називають порожнину, виконану у вигляді циліндра діаметром до 75 мм і довжиною до 5 м, пробурену в породі та призначену для розміщення заряду ВР. Початок шпуру називають **гирлом**, кінець шпуру (торцева частина) – **вибоєм** або **дном шпуру**, бічну поверхню – **стінками шпуру**.

Основні параметри шпуру: діаметр $d_{ш}$, довжина $l^I_{ш}$ і глибина $l_{ш}$ (рис. 6.1). Через те, що стінки шпуру мають виступи до 1,5 мм і на патронах ВР також є нерівності (вм'ятини, розширення та ін.), у вугільних шахтах при бурінні використовують коронки діаметром 41 – 43 мм для патронів ВР діаметром 36 та 32 мм. Коронками діаметром 51 – 53 мм бурять шпури для патронів ВР діаметром 45 мм.

Довжина шпуру – відстань по осі шпуру від дна до його гирла ($l_{\text{ш}}^1$).

Глибина шпуру – перпендикуляр, опущений від дна шпуру до поверхні вибою ($l_{\text{ш}}$), тобто це є глибина закладення шпуру в гірському масиві:

$$l_{\text{ш}} = l_{\text{ш}}^1 \sin \alpha,$$

де α – кут між вибоєм виробки та віссю шпуру.

Практикою встановлені раціональні довжини шпурів залежно від міцності порід при вибухах у забоях з однією відкритою поверхнею:

- в міцних породах $l_{\text{ш}}^1 = 1,5 - 1,8$ м;
- в породах середньої міцності $l_{\text{ш}}^1 = 1,8 - 2,2$ м;
- в слабких породах $l_{\text{ш}}^1 = 2,2 - 2,5$ м.

При вибухах з двома відкритими поверхнями довжина шпурів становить $1,8 - 5,0$ м, але частіше $l_{\text{ш}}^1 = 2,2 - 3,0$ м. При підриванні по вугіллю і породі довжина шпурів повинна бути не менше $0,6$ м.

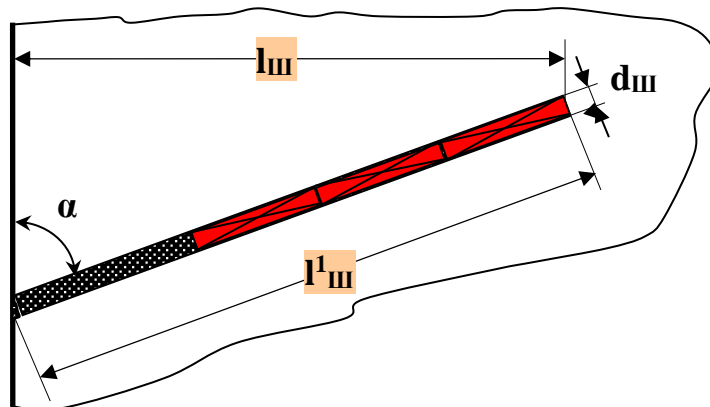


Рис. 6.1. Основні параметри шпуру

Як правило, шпуровий заряд руйнує породу в зоні, найближчій до вибою. Донна частина залишається в незруйнованому масиві породи у вигляді так званої "склянки", рис. 6.2.

Забороняється в усіх випадках розбурювати "склянки" незалежно від наявності або відсутності в них залишків ВР.

Суворо заборонено бурити шпури наступного циклу через склянки, оскільки в них нерідко залишається ВР.

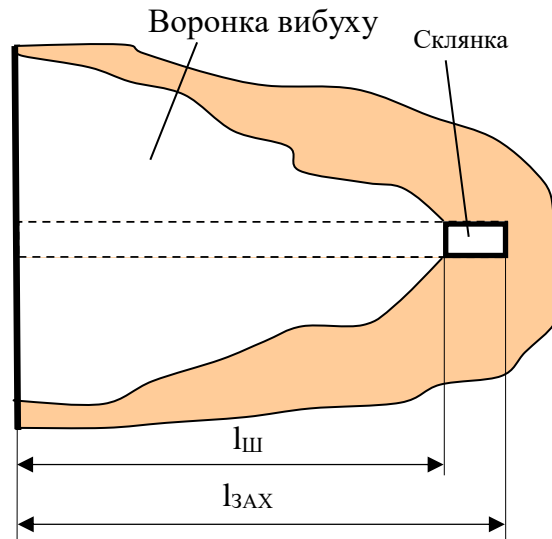


Рис. 6.2. Частина масиву порід після вибуху шпурового заряду

Важливим параметром є $l_{ЗАХ}$ – посування вибою за одне підривання або за один цикл; $l_{ЗАХ}$ на практиці завжди менше $l_{Ш}$.

Відношення посування вибою за одне підривання до глибини шпурів має назву – **коефіцієнт використання шпурів** – (КВШ):

$$КВШ = l_{ЗАХ} / l_{Ш}; (КВШ \leq 1).$$

Нормативне значення КВШ дорівнює 0,8. На передових проходках КВШ сягає 0,9 – 0,95, іноді 0,97 – 1,0 в слабких породах. При проектуванні буропідричних робіт значення КВШ рекомендується обирати для однієї відкритої поверхні 0,8 – 0,85, а для двох – 0,9 – 0,95.

При проведенні промислових випробувань нових типів ВР та нових технологій виконання підричних робіт КВШ визначають за посуванням вибою за конкретний контрольний період часу, який зазвичай складає 10 підривань.

6.1.1. Основні підривні вруби

При проведенні виробок у вибої найчастіше є одна відкрита поверхня – вибій, у якому перпендикулярно і похило до його поверхні бурять, а потім підривають комплект шпурів (від 10 до 60 і більше). Вибух комплекту шпурів повинен відповідати таким вимогам:

1 – спочатку необхідно створити вибухом частини шпурів додаткову другу відкриту поверхню, щоб посилити руйнівну дію інших зарядів;

2 – зруйнувати породу в перерізі виробки на шматки необхідних розмірів, а навал породи отримати компактним для ефективної роботи навантажувальних машин, створити безпечні умови для людей і запобігти пошкодженню кріплення та обладнання;

3 – утворити переріз виробки, максимально близький до проектного, звівши до мінімуму недобори і перебори породи, забезпечити високий КВП, а також запобігти порушенню природної міцності масиву за контуром перерізу виробки;

4 – витрати часу і вартісні показники БПР (питомі витрати) повинні бути мінімальні.

Критерієм правильного оконтурювання є коефіцієнт надлишку перерізу (КВП) – відношення фактичної площі поперечного перерізу виробки в проходці $S_{ф.ПР}$ до площі проектного поперечного перерізу начорно $S_{Вч}$:

$$КВП = S_{ф.ПР}/S_{Вч}.$$

Нормативне значення КВП дорівнює 1,03 – 1,05.

Для досягнення зазначених результатів вибуху в комплекті шпурів застосовують врубові, відбійні, оконтурювальні й похилі шпури, прямі (призматичні вруби) і комбіновані вруби.

Врубіві шпури (на рис. 6.3 № 1 – 4) – після вибуху зарядів створюється додаткова (друга) відкрита поверхня у вибої, що покращує умови підривання інших шпурів. Врубіві шпури зазвичай бурять на 0,2 – 0,3 м глибше інших, а величина зарядів врубових шпурів на 15 – 20 % більше, ніж в інших.

Відбійні шпури (на рис. 6.3 № 5 – 9) підривають після врубових, призначені для розширення порожнини, утвореної врубовими шпурами. При малих перетинах виробки відбійних шпурів може не бути, а при великому перерізі відбійними шпурами руйнують основну частину породи у вибої.

Оконтурювальні шпури (на рис. 6.3 № 10 – 22) – заряди в цих шпурах підривають останніми. Вони призначені для додання виробці проектного перерізу. Кінці контурних шпурів у міцних породах випускають за проектний контур на 100 – 150 мм, а в м'яких - розташовують на проектному контурі виробок. У

виробках прямокутного, трапецієподібного і склепінного перетину застосовують похилі й прямі вруби.

Найбільш надійні вруби: щілинні, рис. 6.4, а, призматичні, рис. 6.4, б, і спіральні крокуючі, рис. 6.4, в. Застосування спірально крокуючих врубів вимагає використання тільки пресованих ВР.

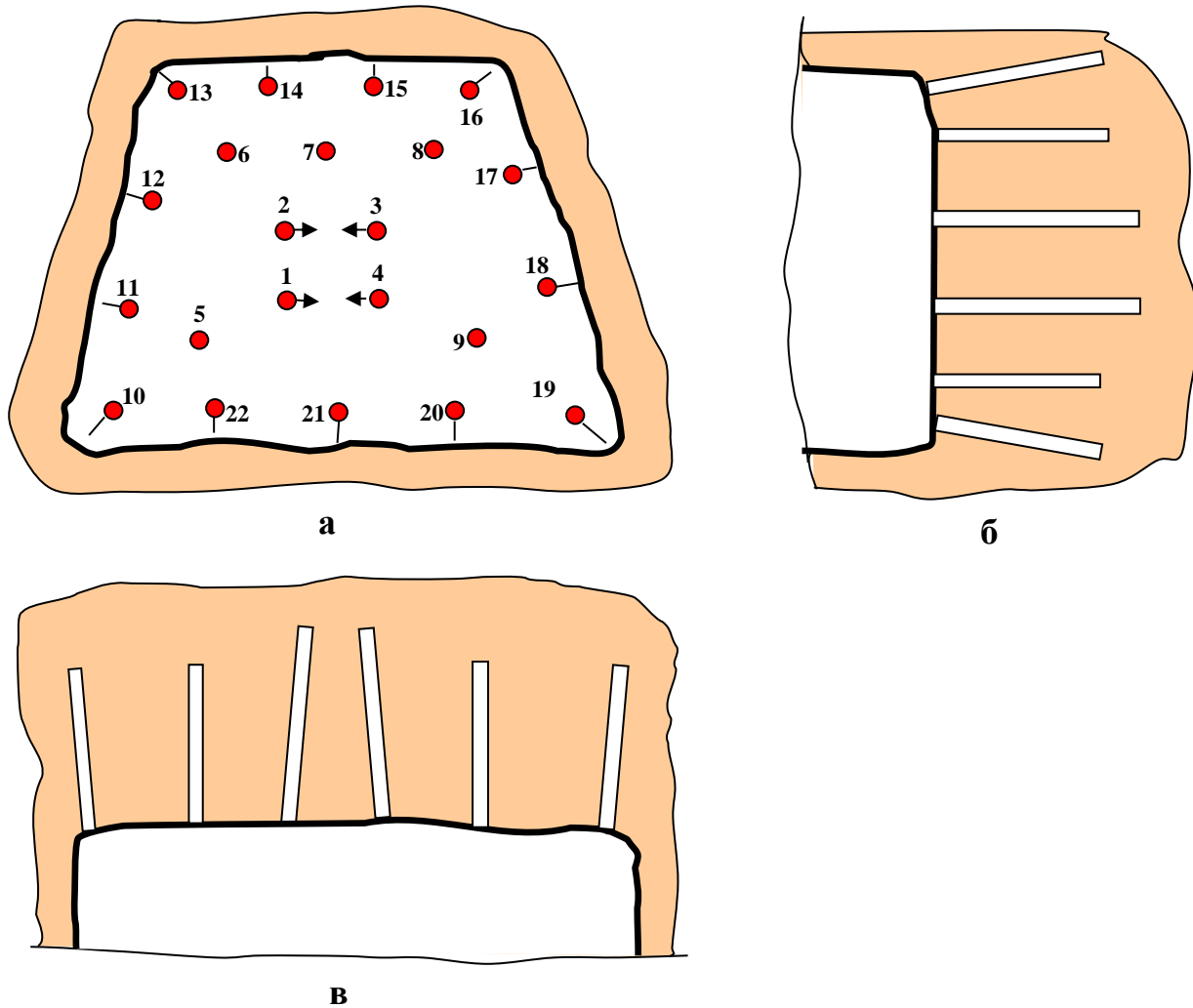


Рис. 6.3. Схема розміщення врубових, відбійних та оконтурювальних шпурів:
 а – приклад розміщення шпурів у перерізі вибою; б – вид збоку;
 в – вид зверху

Похилі вруби утворюють шпурами, пробуреними похило під кутом $60 - 70^\circ$ до поверхні вибою. Відстань між кінцями шпурів $10 - 20$ см, якщо це не суперечить [1]. У тріщинуватих породах шпури розташовують так, щоб вони перетинали поверхні тріщин під кутом 90° .

Прямі (призматичні) вруби (рис. 6.4) утворюють шпурами, пробуреними перпендикулярно поверхні вибою (паралельно осі виробки). Зазвичай у таких врубах один або кілька шпурів залишають незарядженими для створення додаткових відкритих поверхонь, що полегшують руйнівну дію інших шпурів. Відстань між сусідніми шпурами 20 – 30 см, у дуже міцних породах – від 5 до 10 см за умови відсутності зауважень з боку [1].

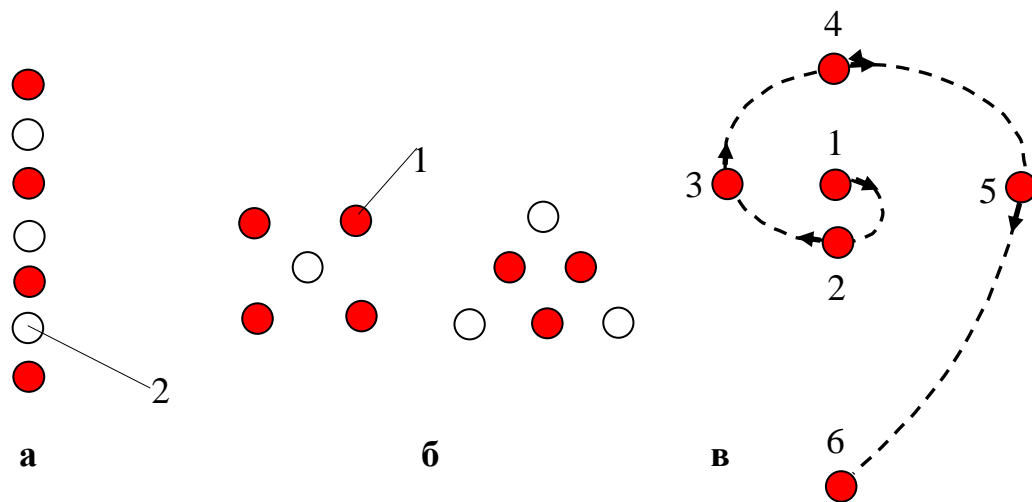


Рис. 6.4. Деякі схеми розміщення прямих врубів:

а – щілинний ; б – призматичний ; 1 – заряджений шпур; 2 – незаряджений шпур; в – спіральний крокуючий вруб: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – номери зарядів і відповідна послідовність їх підривання

Сфера застосування прямих і похилих врубів залежать від глибини шпурів (l), перерізу виробки (S), коефіцієнта міцності порід (f) і можуть бути визначені за графіками, рис. 6.5.

Серед комбінованих врубів найбільшу цікавість викликає **крокуючий пірамідально-клиновий вруб**, рис. 6.6, що складається з дев'яти шпурів.

Шпур № 1 – центральний, має найменшу глибину (1 – 1,2 м), заряд з одного патрона ВР. Цей шпур буриться перпендикулярно поверхні вибою.

Шпури № 2 – 5 розташовуються на однаковій відстані від шпуру № 1. Глибина цих шпурів, починаючи від центрального, поступово збільшується з інтервалом 0,2 – 0,33 м. Заряди також збільшуються на один патрон, тобто на 0,25 – 0,3 кг в кожному наступному шпурі порівняно з попереднім. Пробурюють з деяким нахилом до осі шпуру № 1. Черговість висадження відповідає номерам

шпурів. Після вибуху шпурів № 1 – 5 через 15 – 30 мс підривають заряди в шпурах № 6 – 9.

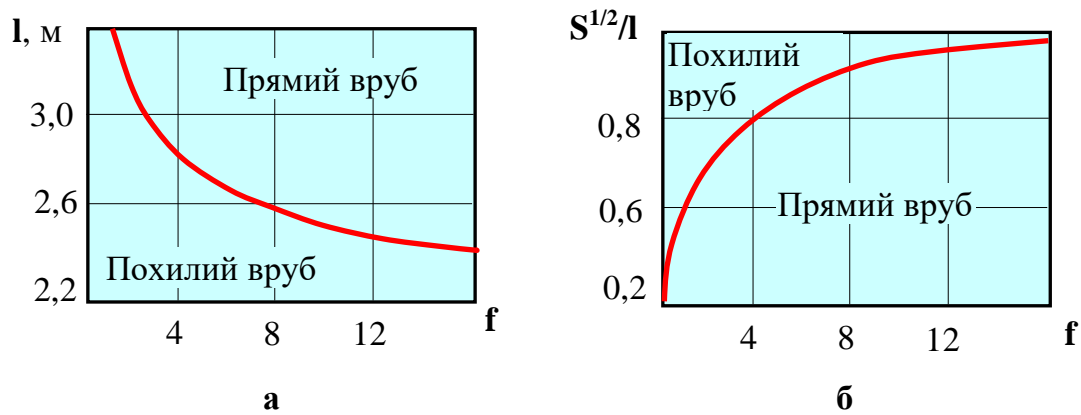


Рис. 6.5. Графіки залежності області визначення похилих і прямих врубів від глибини шпурів (а) та перерізу виробки (б)

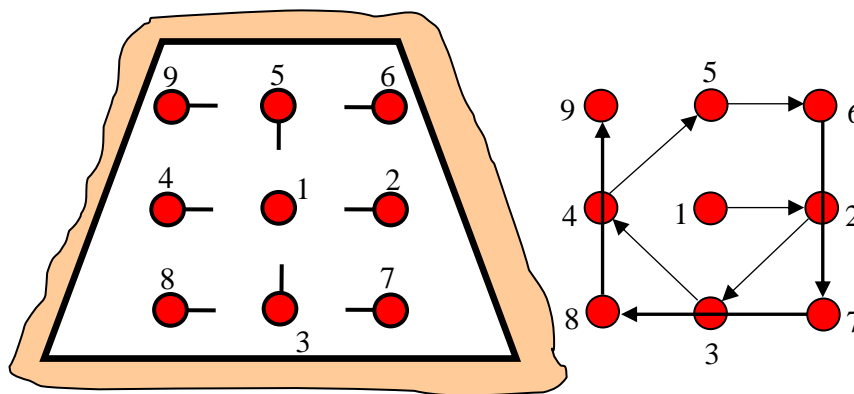


Рис. 6.6. Крокуючий пірамідально-клиновий вруб

Прямі вруби з глибокими шпурами, у яких використаний ефект вибухового запресування вільної від заряду частини шпурів, що підривають з уповільненням, а також прямі вруби з додатковими зарядами, що очищують врубову порожнину, показані на рис. 6.7, а і 6.7, б відповідно.

На рис. 6.8 наведені схеми врубів, які найбільш часто використовуються в шахтах при підривних роботах.

Доцільний інтервал уповільнення між врубовими і відбійними шпурами становить 50-75 мс, а між відбійними й оконтурювальними шпурами – 15 – 25 мс. Зі збільшенням міцності порід інтервал уповільнення зменшується. Збільшений інтервал уповільнення між врубовими і відбійними шпурами пояснюється тим,

що час руйнування породи врубовими зарядами, що працюють при одній відкритій поверхні, більше ніж у відбійних і оконтурювальних.

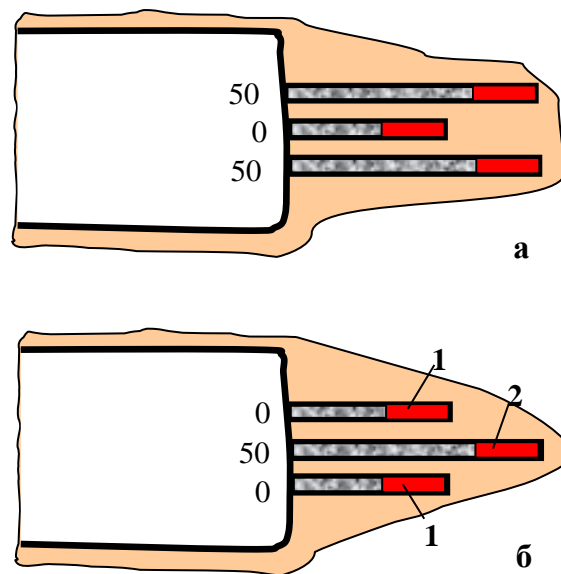


Рис. 6.7. Схема розміщення прямих врубів з глибокими шпурами:
а – з вибуховим заpresуванням; б – із зарядами, що очищують вибухову порожнину; 1 – руйнуючий заряд; 2 – заряд, що очищує; 0,50 – час уповільнення, мс

Мінімально припустимі відстані між суміжними шпуровими зарядами повинні становити не менше величин, зазначених у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Мінімально припустима відстань між суміжними шпуровими зарядами

Умови підри- вання	Мінімально припустима відстань між суміжними шпуровими зарядами, м, при застосуванні ВР, класу :			
	II	III – IV	V	VI
<i>По вугіллю</i>	0,6	0,6	0,5	0,4
<i>По породі: f < 7</i>	0,5	0,45	0,3	0,25
При f = 7...10	0,4	0,3	–	–

У породах з $f > 10$ відстань між суміжними шпуровими зарядами має визначатися нормативами, розробленими за погодженням з організацією-експертом з безпеки робіт.

6.2. Забійка шпурів при підриванні у вугільних шахтах

Підривні роботи у вугільних шахтах є джерелом підвищеної небезпеки, пов'язаної з високою ймовірністю займання МПС і ППС продуктами детонації зарядів ВР. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування в шпуровому заряді спеціальних матеріалів забійки, які, з одного боку, могли б поглинати частину енергії продуктів вибуху і тим самим сприяти швидкому їх охолодженню, а з іншого – як можна довше утримувати продукти вибуху в зарядній камері шпуру. Це дозволить підвищити коефіцієнт корисної дії вибуху та створити умови для охолодження продуктів вибуху до температури, при якій займання МПС і ППС не відбувається.

Щодо гарантування робіт, хімічної взаємодії з продуктами вибуху і характеру опору (замикаючим властивостям), що перешкоджає витіканню із шпуру високотемпературних газів – продуктів детонації ВР, усі використовувані в даний час типи забійки можна умовно розділити на такі групи: 1 – з пластичних матеріалів, 2 – зі штучних інгібіторних пластичних матеріалів, 3 – із сипучих матеріалів, 4 – рідинна забійка, 5 – пробками з твердих матеріалів, 6 – розчинами швидкотверднучих в'язучих речовин і 7 – комбінована забійка.

6.2.1. Інгібіторна забійка

З даних табл. 6.2 видно, що одним з найбільш простих у виконанні та ефективних видів забійки при веденні підривних робіт у вугільних шахтах, небезпечних відносно вибуху газу і пилу, є забійка зі штучних інгібіторних пластичних матеріалів. Інгібіторну пластичну забійку на основі порошку КСВ-30 [7] розроблено МакНДІ і УкрНДІПроектом за участю Донецького казенного заводу хімічних виробів і ТОВ «Інгібітор». Цей матеріал задовольняє умови пункту 2 табл. 6.2. Розроблені за основними показниками склади значно перевершують вживані в даний час матеріали забійки. Новий матеріал сертифікований і допущений до постійного застосування.

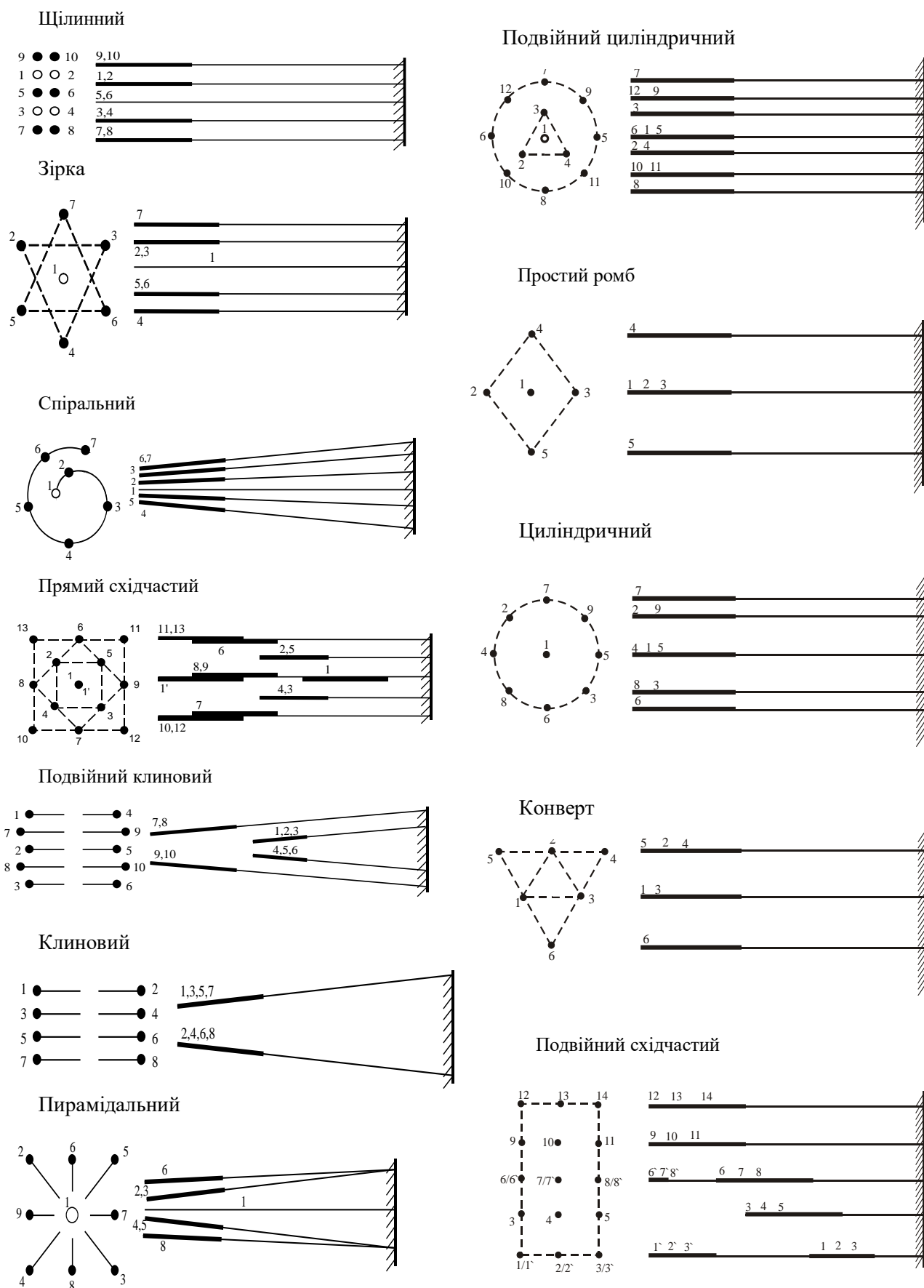


Рис. 6.8. Типові схеми розміщення шпурів у підривних врубах

Використання інгібіторної пластичної забійки в шахтах Донецької та Луганської областей дозволило значно збільшити техніко-економічні показники ведення підривних робіт – КВШ зростав (в різних гірничо-геологічних умовах) на 5 – 15 %.

Важлива роль відведена виду забійки, оскільки від правильно вибраного виду залежить безпека, її ефективність ведення підривних робіт у вугільних шахтах, небезпечних за вибухом газу, і шахтах які розробляють пласти, небезпечних за вибухом пилу.

6.2.2. Сучасні матеріали забійки

Ефективність застосування забійки шпурів і свердловин при підривних роботах зумовлена такими перевагами:

- підвищується руйнівна дія вибуху;
- запобігає займанню МПС і ППС продуктами вибуху;
- виключається підпалення легкозаймистих предметів високотемпературними частинками, що викидаються при підриванні зарядів зі шпурів і свердловин;
- значно зменшується вміст токсичних газів у ПВ.

Наприклад, при використанні в шахтах запобіжних амонітів Т-19 і ПЖВ-20 ефективність вибуху при шпуровому методі становить від 18 до 23 %. Цей ефект пов'язаний з тим, що ПВ довше перебувають під високим тиском і хімічні реакції розкладання ВР протікають більш повно.

Час затримки вильоту газів забійки матеріалом при шпуровому методі становить 5 – 15 мс.

У шахтах, небезпечних за вибухом газу і пилу, рекомендується використовувати такі види забійки матеріалів:

- рідинна забійка або гідрозабійка, рис. 6.9, застосовується у вигляді заливки похилих шпурів водою і у вигляді водонаповнених поліетиленових ампул; використовується в поєднанні із замикаючою піщано-глинистою забійкою, проте **застосування замикаючої забійки є обов'язковим;**
- з пластичних матеріалів (глина, суміш глини з піском, пастоподібна суміш типу ПМЗ-3 або зволожена крейда);

**Основні характеристики матеріалів забійки
(О.І. Кашуба, Ю.В. Манжос – МакНДІ)**

Тип забійки	Характеристика	Переваги	Недоліки
1. Забійка з пластичних матеріалів (глина, суглинка, суміш піску з глиною)	Замикаючі властивості зумовлені спільною дією інерції маси забійки, сил тертя і сил внутрішнього зчеплення забійки	Дешевизна, доступність виготовлення і простота використання	Не захищає привибійний простір від вибуху МПС і ППС при впливі продуктів вибуху і горіння зарядів ВР
2. Забійка зі штучних інгібіторних пластичних матеріалів	Замикаючі властивості зумовлені спільною дією інерції маси забійки, сил тертя і сил внутрішнього зчеплення забійки	Доступність у виготовленні, простота використання, надійний захист привибійного простору від спалахів МПС і ППС. Підвищення КВШ, знижує викид токсичних газів	Підвищена вартість
3. Забійка із сипучих матеріалів (пісок, гранульований доменний шлак)	Замикаючі властивості зумовлені спільною дією тільки за рахунок інерції маси забійки і сил тертя	Доступність у виготовленні, простота використання	Не захищає привибійний простір від вибуху МПС і ППС; технологічні незручності розміщення забійки в шпурі та ін.
4. Рідинна забійка (з повною заливкою шпуру водою і використанням пластикових ампул)	За якістю замикаючого ефекту займає проміжне положення між забійками з пластичних і рідких матеріалів	Дешевизна, доступність у виготовленні, простота використання; знижує викид токсичних газів у виробку	Рідина може витікати з шпурів і ампул. Необхідний додатковий клейтух з пластичного матеріалу
5. Забійка шпурів пробками з твердих матеріалів (дерево, пластмаса, мінеральна вата)	Замикаючі властивості зумовлені розклинюванням пробок у гирлах шпурів	-	Недостатня ефективність
6. Забійка шпурів розчинами швидкотверднучих в'язучих речовин	Замикаючі властивості зумовлені спільною дією інерції маси забійки, сил зчеплення забійки зі стінками шпуру і частково за рахунок сил тертя	Надійність запирання зарядної камери шпуру, підвищення КВШ	Підвищена вартість, технологічні складнощі, вимагає більше часу на підготовку підривання
7. Комбінована забійка (ампула з подвійною оболонкою, заповненою інгібітором)	Простір між двома пластиковими оболонками заповнюється гранульованим наповнювачем, потім через клапан в оболонку нагнітається вода	Розклинює оболонку в шпурі, що обумовлює надійність замикання зарядної камери шпуру і підвищення КВШ	Підвищена вартість. Технологічні складнощі при монтажі, вимагає більше часу на підготовку підривання

– із сипучих матеріалів у вигляді вибухозахисної гранульованої полум'яло-калізуючої суміші складу ВМК-1 і зволоженої суміші карбаміду з хлоридом калію.

Гідрозабійка з використанням водонаповнених ампул зі зворотнім клапаном є основним видом забійки при підривних роботах у шахтах, небезпечних за вибухом газу та пилу.

Водонаповнені ампули в шпурі встановлюють між патронами ВР і замикаючою забійкою. Під час підривних робіт у вугільних шахтах допускається застосовувати водонаповнені ампули, що розташовуються біля дна шпуру попереду заряду ВР і між глиняними клейтухами.

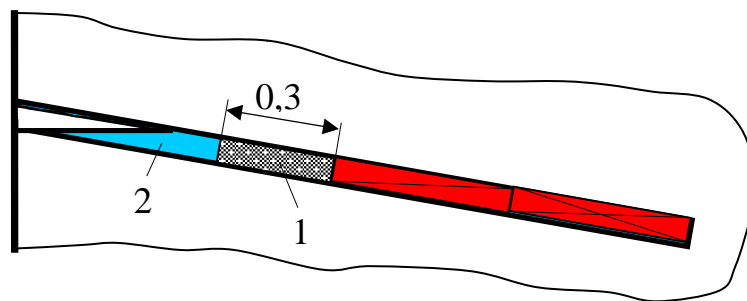


Рис. 6.9. Шпур с рідинною (2) і запірною (1) забійкою

Під час підривання по вугіллю та породі мінімальна величина забійки для всіх забивочних матеріалів повинна становити:

- у разі глибини шпурів від 0,6 до 1,0 м – половину глибини шпуру;
- у разі глибини шпурів більше 1,0 м – 0,5 м;
- у разі підривання зарядів у свердловинах – 1,0 м.

Відстань від заряду ВР до найближчої поверхні повинна бути не менше ніж 0,5 м по вугіллю і не менше ніж 0,3 м по породі, у т. ч. і при підриванні зарядів у породному негабариті. У випадках застосування ВР VI класу під час підривання по вугіллю відстань допускається зменшити до 0,3 м.

6.3. Причини відмов і вигоряння зарядів ВР

Як уже було зазначено вище, джерелом займання метано- і пилоповітряних сумішей у небезпечних виробках шахт у 25 % випадків є підривні роботи. А серед основних причин спеціалісти виділяють вигоряння зарядів, їх оголення

(~ 25 %), наявність тріщин у масиві (~ 20 %), відсутність або недостатність забійки (~ 12 %). Крім цього, причиною відмов або неповних вибухів може бути низька водостійкість зарядів ВР.

Найбільш небезпечна ситуація створюється у вибої, коли детонація заряду загасає і переходить у горіння. Першою причиною може бути незадовільна якість запобіжних ВР (підвищена вологість, злежалі патрони тощо). Ще одна з причин – унаслідок технологічних порушень детонація заряду в шпурі може припинитись і перейти в горіння. У першому й особливо в другому випадках якість вибуху може бути низька, можливі аварії, пов'язані з ліквідацією відмов, і займання метану і вугільного пилу, що знаходяться в атмосфері виробки.

Оскільки вигорання зарядів ВР відбувається протягом декількох секунд, то за цей час з високою долею ймовірності може виникнути вибухонебезпечна атмосфера через метан, що виділився, і вугільний пил, що утворився. Експериментально встановлено, що звичайний час утворення вибухонебезпечної концентрації метану і пилу становить 250 – 500 мс, а на деяких пластах може бути ще менше. У цьому випадку ступінь запобіжності палаючого заряду ВР не впливає на займання метану. Очевидно, що виникає необхідність виключити умови підривання, при яких можуть статися загасання детонації зарядів ВР і подальше їх вигорання.

Найчастіше відмова заряду відбувається в результаті каналного ефекту, прориву газу в сусідній шпур, підвищеного гідростатичного тиску в обводнених шпурах і т. д.

Загасання детонації заряду може призвести до таких негативних явищ:

- горіння заряду ВР;
- утворення отруйних газів;
- вибух метаноповітряної суміші;
- вибух пилоповітряної суміші у вибої.

Розглянемо послідовно причини, відмови заряду.

1. Канальний ефект – проявляється при наявності зазору між патронами ВР і стінкою шпуру в результаті поширення ударної хвилі в зазорі зі швидкістю, більшою за швидкість детонації ВР. Ця ударна хвиля ущільнює заряд до щільності вищу за критичну, у результаті чого детонація ВР загасає або переходить у горіння.

Негативними явищами в цьому випадку можуть бути утворення отруйних газів, вибух метану або вугільного пилу у вибої.

Заходи боротьби:

- необхідно зменшити радіальний проміжок між патронами і стінками шпуру;
- застосовувати ВР з підвищеною критичною щільністю;
- застосовувати спеціальні конструкції зарядів, стійких до дії каналного ефекту.

Одним із способів боротьби є застосування монопатронів, окремі частини яких виконані з пластмасових трубок зі стінками товщиною 2 – 3 мм та із замковими з'єднаннями на кінцях, заповнених ВР. Така конструкція дозволяє швидко збирати заряди будь-якої довжини і вводити їх у шпур. Застосування пластмасових оболонок (наприклад з капрону) не впливає на кисневий баланс під час вибуху.

2. Прорив газу в сусідній шпур. Під час вибуху в вугільному масиві навколо заряду виникає система радіальних тріщин, які можуть поєднувати зону вибуху з порожниною поруч розташованого шпуру. Швидкість поширення тріщин у вугіллі складає 360 – 900 м/с. Цими тріщинами поширюються продукти вибуху зі швидкістю 300 – 400 м/с при тиску газів $(25 - 40) \cdot 10^5$ Па у порожнину сусіднього зарядженого шпуру. Проникаючий газовий потік при таких параметрах здатний викликати порушення суцільності заряду між окремими його частинами (патронами) з утворенням проміжків, заповнених повітрям або вугільним пилом; запресування заряду здійснюють, роблять у радіальному або осьовому напрямку; викидання патрона-бойовика зі шпуру.

Перераховані явища можуть викликати відмову детонації або її перехід у горіння. Експериментально встановлено, що при відстані між шпурами 0,4 – 0,6 м, глибині закладання 1,6 – 1,8 м і заряді вугленіту Е-6 масою 600 г газу проникають у сусідній шпур за 0,7 – 1,5 мс, викликаючи вказане порушення заряду. Щільність окремих частин ВР при цьому сягає 1,5 – 1,6 г/см³, тобто перевищує критичне значення (~1,4 г/см³).

Аналогічна ситуація виникає при веденні підривних робіт по породі. При тому самому тиску газів швидкість поширення тріщин у породі може сягати 2000 м/с.

Негативні явища, пов'язані з відмовою детонації або її переходом у горіння:

- утворення великої кількості отруйних газів (до 1000 %);
- вибух метану або вугільного пилу.

Заходи боротьби:

– параметри розташування і конструкція застосовуваних зарядів повинні виключити прорив газів у сусідній шпур або нейтралізувати їх вплив на заряд, що регламентовано [1];

– відстані між шпурами по вугіллю і породі повинні суворо відповідати даним табл. 6.1.

У ДержМакНДІ розроблена конструкція заряду з гранульованих ВР, розділених гумовими затискачами в поліетиленовому шлангу на порції по 200 г. Залежно від необхідної величини заряду певну визначену кількість порцій з'єднують в один шланговий монозаряд, при цьому детонаційна здатність таких зарядів вище, ніж зарядів, складених з патронів.

3. Підвищення гідростатичного тиску в шпурах відбувається внаслідок того, що шпур після заряджання герметизується піщаниково-глинистою забійкою. За час заряджання вибою (30 – 40 хв) тиск за експериментальними даними може підвищитися до $3 \cdot 10^5$ Па.

Негативні явища. При такому високому тиску водостійкість оболонки патрона ВР знижується, що призводить до намокання вибухової речовини і відмов зарядів.

Заходи боротьби: потрібне підвищення водостійкості патронів ВР і застосування пористої забійки, що виключає підвищення тиску в шпурах.

Жодна з раніше розглянутих запобіжних ВР не забезпечує повної гарантії незагоряння вибухонебезпечної рудниковної атмосфери. У зв'язку з цим для ведення підричних робіт розроблений комплекс заходів, що запобігають або локалізують займання МПС і ППС.

Для збільшення гарантії якісного вибуху і повної детонації зарядів необхідно виконати такі правила:

- ЛНО для зарядів у шпурах повинна бути не менше 0,5 м;
- вміст метану у вибої і на відстані до 20 м від вибою повинен бути не більше 1 %;

– заряд, що складається з декількох патронів ВР, слід уводити в шпур одночасно.

Сумарний інтервал уповільнення при короткоуповільненому підриванні в шахтах, небезпечних за вибухом газу і пилу, вибирають, виходячи з умов, щоб у місці розташування зарядів за цей інтервал не утворилося вибухонебезпечних концентрацій метану і вугільного пилу. Для вугільних, змішаних та породних вибоїв сумарний інтервал уповільнення не повинен перевищувати 320 мс.

6.3.1 Деякі способи інертизації вибухонебезпечної атмосфери

Гарантією того, що рудникова атмосфера в привибійному просторі виробки виявиться "байдужою" до будь-яких негативних ситуацій, що виникають під час проведення підривних робіт, є заміна вибухонебезпечної атмосфери на інертну. З цією метою використовують водяні завіси, повітряно-механічну піну, розпорошені інгібітори, інертні гази, інертний пил, водяні заслони тощо. Коротко розглянемо деякі з цих способів.

Спосіб створення водяних завіс полягає в попередньому (за 25 мс до вибуху врубових шпурів) підриванні зарядами ВР підвищеної запобіжності (VII клас ВР) поліетиленових мішків з водою місткістю від 20 до 50 л, підвішених у вибої або укладених на підшву виробки. У цьому випадку атмосфера у вибої на ділянці 3 – 6 м при однорядному і дворядному розташуванні посудин насичується тонкодисперговою водою. Зазвичай заряди в посудинах підривають миттєво, а врубові шпури ініціюють детонаторами ЕДКУ з уповільненням 25 мс (15 мс). Усі заряди монтують в єдину мережу.

Іноді для створення водяних завіс застосовують спеціальні форсунки, з яких диспергована вода викидається на деякій відстані від заряду, вибою. Кількість води беруть з розрахунку 5 л на 1 м² перерізу вибою.

Застосування повітряно-механічної піни (розробка ІГТМ НАН України). Цей спосіб описано далі. Від піногенератора піна повітряним вентиляційним потоком по трубах транспортується у вибій і заповнює весь переріз виробки довжиною 10 – 15 м. Усі гази витісняються з привибійного простору, тобто створюються безпечні умови для вибуху. Використовують піногенератори ежекційного типу продуктивністю від 0,8 до 1,5 м³/хв. Необхідний напір робочої рідини на форсунки піногенератора створюється насосом. Тиск у піні падає в 12 – 14 разів

і при збільшенні відстані має сильну тенденцію до загасання.

Застосування розпорошених інгібіторів. Інгібітор – речовина, що знижує швидкість хімічних реакцій. При певному вмісті цих речовин у повітрі спалах вибухонебезпечної суміші не відбувається. Як інгібітори застосовують KJ, NaJ, NaBr, що є нейтральними за дією на організм людини та хімічно стійкі. Розпилення їх досягається шляхом вибуху зарядів ВР.

Використання інертних газів у привибійній зоні засноване на тому, що пробка (перегородка) з інертних газів товщиною близько 1,5 м у виробці гарантує локалізацію спалаху метану або вугільного пилу. Не дає можливості спалахнути, якщо осередок розташований впритул до забою.

Багато десятків років у вугільних шахтах застосовуються водяні або пилові заслони, які створюються шляхом розміщення на деякій відстані від вибою стелажів, на яких встановлені ванни з водою або дошки з інертним пилом. Стелажі й дошки легко перекидаються повітряною ударною хвилею, що йде попереду полум'я, перериваючи його поширення утвореною перепоною з водоповітряною або пилоповітряною сумішшю.

6.4. Особливості підричних робіт при проведенні виробок по викидонебезпечних пластах

Підричні роботи, у тому числі й струсне підривання, часто є причиною викидів вугілля і газу, а за даними [8] – єдиною причиною викидів породи і газу. Статистика свідчить про те, що у вугледобувних країнах світу від 60 до 93 % викидів відбуваються в результаті проведення підричних робіт. Таким чином, існує серйозна проблема, викликана протиріччями між очевидною необхідністю проведення технологічних вибухів, з одного боку, а з іншого – небезпекою проведення підричних робіт, оскільки ймовірність ініціювання викидів вугілля, породи і газу в цих випадках стає досить високою.

Однак надія на те, що саме «особливий» вибух – струсний – знизить ймовірність викиду, існує багато років. Уперше струсне підривання було застосовано в Донбасі на шахті «Червоний Профінтерн» у 1933 р. (м. Єнакієве). У цій історії навіть було місце підземного ядерного вибуху, камуфлетний заряд був установлений на горизонті 903 м між пластами вугілля (гор. 826 м і гор. 936 м). Вибух був проведений у полі шахти «Юний комунар» (м. Єнакієве). Застосування стру-

сного підривання є наслідком застарілих уявлень про механізм формування викидонебезпечного вугілля і залишається без відповіді на принципове питання про природу виділення великої кількості метану під час викиду. Наразі струсне підривання є одним з основних засобів боротьби з раптовими викидами вугілля і газу при розкритті вугільних пластів стовбурами і квершлагами.

Струсне підривання повинно здійснюватися під час розробки пластів, схильних до газодинамічних явищ, таких, наприклад, як викиди породи і газу, а також на загрозованих пластах, де за поточним прогнозом отримано прогноз «Небезпечно» у певному режимі, спрямованому на захист людей від наслідків можливих викидів, у тому числі під час:

- проведення горизонтальних, похилих (що проводяться зверху донизу) і підняткових (з кутом нахилу до 10° включно) виробок, а також для відбійки вугілля в очисних вибоях;
- розкриття викидонебезпечних вугільних пластів потужністю більше 0,1 м;
- розкриття вугільних загрозованих пластів, якщо прогнозом встановлено небезпечні значення показників викидонебезпечності або прогноз перед розкриттям не здійснювався;
- розкриття пісковиків на глибині 600 м і більше, якщо прогнозом встановлено, що пісковик викидонебезпечний або прогноз викидонебезпечності перед розкриттям не здійснювався;
- проведення виробок по викидонебезпечних пісковиках.

Струсне підривання – спосіб створення безпечних умов для робіт згідно з чинними «Правилами безпеки при поводженні з вибуховими матеріалами промислового призначення» (НПАОП 0.00-1.66-13), що застосовуються при розкритті небезпечних за викидами пластів, при проведенні підготовчих і очисних виробок у таких пластах, а також при розкритті загрозованих пластів.

Відповідно до сучасних уявлень струсним підриванням називають підривні роботи на пластах, схильних до раптових викидів вугілля, породи і газу, які виконуються в певному режимі, спрямованому на захист людей від наслідків можливих викидів вугілля, породи і газу. **Струсне підривання має два принципово різних значення:**

- цілковита відбійка вугілля (породи) в заданому перерізі виробки (Якщо під час струсного підривання не досягнуто необхідної конфігурації вибою, треба

провести повторне струсне підривання з оконтурювання виробки. У місцях геологічних порушень підривання по вугіллю і породі має проводитися одночасно. Забороняється застосовувати механізми і ручні ударні інструменти для оформлення вибою після струсного підривання.);

- запобігання викидів вугілля і газу.

Викиди вугілля та газу, що відбуваються в результаті струсного підривання, характеризуються такими ознаками:

- відкиданням вугілля від вибою на відстань, що перевищує протяжність можливого розміщення вугілля, відбитого вибуховим способом;
- утворенням у вугільному масиві характерної порожнини;
- підвищенням порівняно із звичайним газовиділенням в гірничу виробку.

Основні ознаки викиду:

- руйнування породи за межами проектного перерізу виробки;
- утворення в масиві порожнини, оконтуреної породою, що розшарувалася на тонкі лускоподібні пластинки;
- відкидання породи від вибою і дроблення значної частини її до розмірів крупнозернистого піску;
- підвищене газовиділення у виробки.

Вплив на інтенсивність викидів надає кут падіння пласта. Так, при пологому падінні максимальна інтенсивність не перевищувала 2000 т, при крутому – сягала 14000 т. Збільшення перерізу виробки призводить до збільшення інтенсивності викидів вугілля і газу.

Струсне підривання умовно поділяють на декілька видів. Розробка кожного з них залежить від призначення, області й умов ефективного його застосування. Кожен з видів має цілком певну сферу, галузь застосування, заданий режим підривання характеризується специфічними параметрами ведення підривних робіт.

Розкриття пласта – вид підривання, призначений для відбою породи і вугілля в зонах наближення і видалення. Розкриття пластів струсним підриванням проводиться з використанням ВР ІV класу (амоніт Г5, амоніт П5). У вибоях виробок, що проводяться по породах з $f \geq 5$, допускається використовувати ВР ІІІ класу (наприклад амоніт АП-5ЖВ) до оголення вугільного пласта, що має високу

працездатність. При використанні ВР III і IV класів довжину забійки між розосередженими зарядами задають не менше ніж 0,75 м, а масу першого від устя шпуру заряду – не більше 1,2 кг.

При використанні ВР II класу довжина забійки повинна бути не менше 1,0 м, а маса першого від устя шпуру заряду ВР – не більше 1,0 кг.

Розкриття або переріз пласта – це комплекс робіт, пов'язаних з наближенням до пласта, його перетином і віддаленням від пласта. Найчастіше перетин пластів проводиться квершлагами, рис. 6.10.

У всіх випадках слід вважати:

- 1) що розкриття пологих, похилих і крутопохилих вугільних пластів – це "ділянка наближення" (з 4 до 1 м перед пластом) і "ділянка віддалення" (з 1 до 4 м за пластом); усі відстані задають по нормалі до пластів (рис. 6.10);



Рис. 6.10. Схема розкриття пологих вугільних пластів (за Б.Н. Кутузовим): 1 – ділянка наближення; 2 – ділянка перетину; 3 – ділянка віддалення (усі відстані рахують по нормалі до пластів); 4 – вугільний пласт

- 2) що розкриття крутих вугільних пластів – це "ділянка наближення" (від 4 до 2 м перед пластом) і "ділянка віддалення" (від 2 до 4 м за пластом), рис. 6.11.

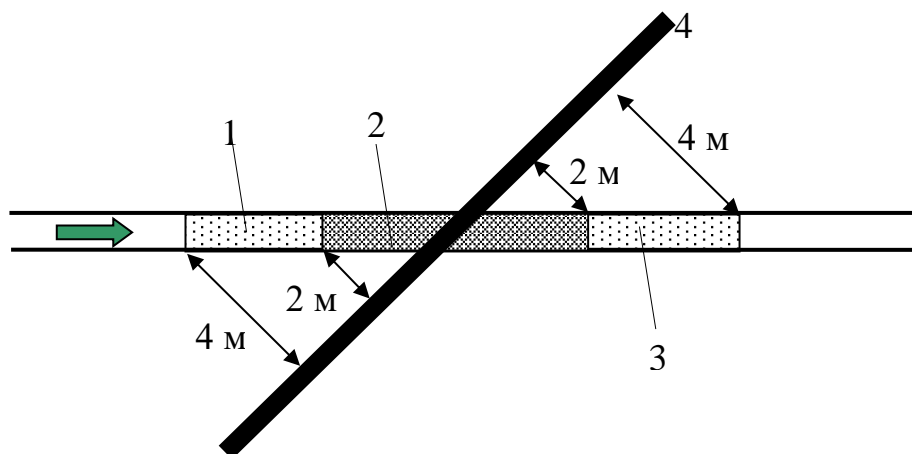


Рис. 6.11. Схема розкриття крутих вугільних пластів
(за Б.Н. Кутузовим): 1 – ділянка наближення; 2 – ділянка перетину;
3 – ділянка віддалення (усі відстані рахують по нормалі до пластів);
4 – вугільний пласт

При перетині викидонебезпечних пластів необхідно використовувати такий паспорт БПР, при якому заряди ВР розташовуються в породній товщі та у вугільному масиві. Уповільнення електродетонаторів короткоуповільненої дії потрібно підбирати таким чином, щоб спочатку зруйнувалася породна пробка, а потім пласт вугілля. Вибір параметрів паспорта БПР для виробок, що проводяться по вугільних пластах і породах, небезпечних за раптовими викидами, повинен забезпечувати цілковиту відбійку вугілля (породи) по всьому перерізу виробки. Якщо при струсному підриванні не досягнута необхідна конфігурація вибою, слід провести повторне струсне підривання з оконтурювання виробки.

На кожному підприємстві має бути "Журнал проведення струсного підривання по шахті", форма якого затверджується керівником підприємства.

Завданням проведення струсного підривання у вугільних і змішаних вибоях підготовчих і очисних виробок є повне відбивання вугілля або вугілля і породи в заданому перерізі виробки. Вирішення цього завдання забезпечується застосуванням ВР IV класу і правильним вибором паспортів БПР, що виключають додаткове оформлення виробок із застосуванням ручних ударних інструментів і машин.

Практика ведення підривних робіт показує, що схема підривання із випереджаючим відбиванням вугілля може бути використана при проведенні виробок

змішаними вибоями на пластах середньої потужності. Проведення виробок змішаним вибоєм з випереджаючим вибуховим відбиванням вугілля дозволяється при відставанні породного вибою від вугільного не більше ніж на 5 м, у цьому випадку підривання зарядів у вибоях повинно проводитися в різні зміни.

Під час підривання зарядів по породі у вибоях, де зроблено випереджуюче виймання викидонебезпечного вугільного пласта, відстань до місця укриття майстра-підривника повинна бути не менше ніж 200 м від місця зливання вихідного струменя повітря з вибою, де проводяться підривні роботи, зі свіжим струменем.

Друга схема підривання, що передбачає одночасне відбивання вугілля і породи, використовується на тонких і надто тонких пластах і це скорочує число підривань і зменшує ймовірність загоряння МПС і ППС.

У паспорті БПР для проведення підготовчих виробок (пласти пологого і похилого падіння) встановлюється мінімальне число струсних підривань при максимальному посуванні вибою. При підриванні по вугіллю глибина шпурів становить 1,8 – 2,9 м, КВШ повинен бути не менше 0,85; при одночасному підриванні по вугіллю і породі глибина шпурів 1,8 – 2,6 м, а КВШ – не менше 0,8.

У вугільних і змішаних вибоях виробок, що проводяться по викидонебезпечних вугільних пластах, під час підривання зарядів тільки по вугіллю або по вугіллю та породі одночасно, а також по породі без випереджувального виймання вугілля, під час проведення виробок по викидонебезпечних породах і під час розкриття таких порід відстань до укриття майстра-підривника повинна бути не менше ніж 600 м від вибою, але не ближче ніж 200 м до місця зливання вихідного струменя повітря з вибою, де проводяться підривні роботи, зі свіжим струменем. У цьому разі люди, не пов'язані з проведенням підривних робіт, повинні перебувати на свіжому струмені повітря на відстані не менше ніж 1000 м від вибою, де проводяться підривні роботи.

Виробка, у якій проводиться струсне підривання, перед підривними роботами має бути звільнена на відстань не менше ніж 100 м до вибою від вагонеток та інших предметів, що захаращують її більше ніж на одну третину поперечного перерізу.

Керувати підготовкою та проведенням струсного підривання у вибої (групі вибоїв) повинні інженерно-технічні працівники дільниці, на якій проводяться підривні роботи.

Сумарний час уповільнення при струсному підриванні у вугільних і змішаних вибоях має бути не більше 220 мс, при розкритті пластів до їх оголення – не більше 320 мс.

Вибої виробок, що проводяться по викидонебезпечних породах – область струсного підривання, призначенням якої є відбійка породи в заданому перерізі виробки.

Оптимізація параметрів підривних робіт, спрямована на зменшення інтенсивності та частоти викидів пісковика і газу, містить проведення виробок з випереджаючим вибоєм малого перерізу, коли підривні роботи виконуються в обох вибоях за один прийом (локалізація викидів досягається тим, що відбита вибухом порода основного вибою повністю перекриває переріз випереджаючого). Відповідно до паспортів БПР глибину шпурів обирають такою, що дорівнює 1,6 – 1,8 м, кількість шпурів у випереджаючому вибої у зонах високого ступеня небезпеки задають не більше 12, а в зонах невисокого і середнього ступеня небезпеки – не більше 21. Розміри випереджаючого вибою в зонах високого ступеня небезпеки такі: ширина 1,6 м, висота 2,0 м, в зонах невисокого і середнього ступеня небезпеки відповідно 3,2 і 2,0 м. Припустиме уповільнення має бути не більше 135 мс.

При проведенні виробок одночасно по викидонебезпечному пласту пісковика і шару сланцю або по викидонебезпечних і невикидонебезпечних пісковиках шпури розташовують у місцях, показаних на рис. 6.12.

Застосування розглянутих методів не змінює стан осередку викиду, а лише зменшує його інтенсивність, що є істотним недоліком. У зв'язку з цим розроблено ряд способів, якими передбачені попередні активні механічні дії на осередок викиду, наприклад, попередня його дегазація глибинними вибухами. Цей спосіб характеризується такою послідовністю операцій, що проводяться:

1 – розвідувальним бурінням виявляють викидонебезпечний осередок; відстань від вибою до нього повинна бути понад 5 м, що забезпечує створення надійної породної пробки;

2 – у зоні осередку вибурюють 3 – 4 глибоких свердловин діаметром 100–150 мм, потужні заряди в яких розміщують так, щоб вони не виходили за контур осередку викиду. Сильне руйнування масиву й утворення тріщин призводить до дегазації метану, який виходить через свердловини в виробку, викид при цьому не відбувається;

З – після повної дегазації поновлюються роботи з проведення виробок струсним підриванням.

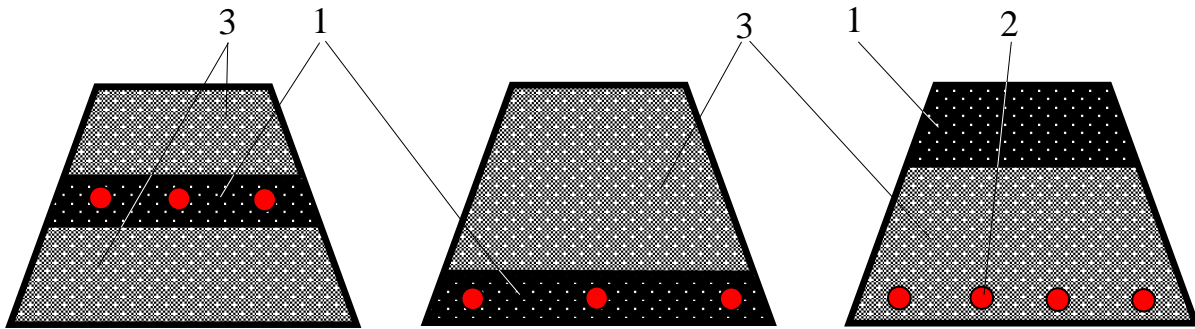


Рис. 6.12. Схеми розташування шпурів при одночасному проведенні виробок по викидонебезпечних і невикидонебезпечних пісковиках (або сланцях):
1 – викидонебезпечний пісковик; 2 – шпури; 3 – невикидонебезпечний пісковик (або сланець)

До основних способів зниження інтенсивності викидів при струсному підриванні належать:

– **підривання зарядів у коротких шпурах** (здійснюється регулювання глибини шпурів залежно від розмірів природної розвантаженої зони вугільного пласта попереду вибою виробки) – становить не менше 2 м;

– **попереднє розпушування вмісних порід виробки** (створюється випереджальне розвантаження в масиві вугілля за рахунок підривання глибоких шпурів по породі поблизу викидонебезпечного пласта);

– **проведення виробок з випереджаючим гідропідриванням** (може здійснюватися змішаними вибоями тільки при одночасному відбиванні вугілля і породи. На глибину випереджаючої частини шпуру встановлюють поліетиленові ампули, заповнені водою. Оконтурювальні шпури розташовують, щоб заряди ВР виходили за проектний контур виробки не менше ніж на 0,2 м, а випереджальна забійка має бути не менше ніж 0,5 м, максимальна глибина шпурів – не більше 4 м, а випереджаюча гідрозабійка має дорівнювати половині глибини шпурів. Маса заряду в шпурах з випереджаючою гідрозабійкою задається на 0,3 кг більше маси зарядів у шпурах, що використовуються для відбійки вугілля);

– проведення підготовчих виробок з випереджаючим відбиванням бічних порід (використовується на крутих пластах, схильних до висипання, потужністю до 0,8 м).

6.5. Підривні технології підземного виймання вугілля

Вибухове руйнування вугілля в лавах наразі не має поширення. Однак на гідрошахтах для збільшення продуктивності гідромоніторів руйнування й ослаблення вугільних пластів, підсікання вугільних ціликів тонких пластів крутого падіння здійснюється за допомогою вибуху. Широке застосування вибухового руйнування вугілля має місце при щитовій системі розробки пластів крутого падіння великої потужності – понад 8 м.

Розглянемо два варіанти вибухового виймання вугілля в лаві: 1 – без машинного підсікання, 2 – з машинним підсіканням.

Вибухове виймання вугілля без машинного підсікання. Цей метод передбачає розташування шпурів при потужності пласта ≤ 1 м в один ряд, а при потужності пласта понад 1 м – у два ряди похило до лінії вибою, щоб забезпечити відкидання вугілля, рис. 6.13. При цьому питома витрата ВР становить 0,2 – 0,4 кг/м³. Глибину шпурів вибирають залежно від стійкості порід покрівлі, а якщо шпури бурять під кутом, то – з урахуванням кута нахилу.

Посування вибою за один цикл при незадовільній стійкості покрівлі становить 0,8 – 1,0 м, при нормальній – 1,0 – 1,2 м.

Кількість шпурів на лаву визначається за формулами:

– при розміщенні в один ряд:

$$N = L/a,$$

– при розміщенні у два ряди:

$$N = L (1/a_1 + 1/a_2),$$

де L – довжина лави (ділянки, що підривається); a – відстань між шпурами в ряду; a_1 і a_2 – відстань між шпурами, розташованими відповідно в першому та другому рядах.

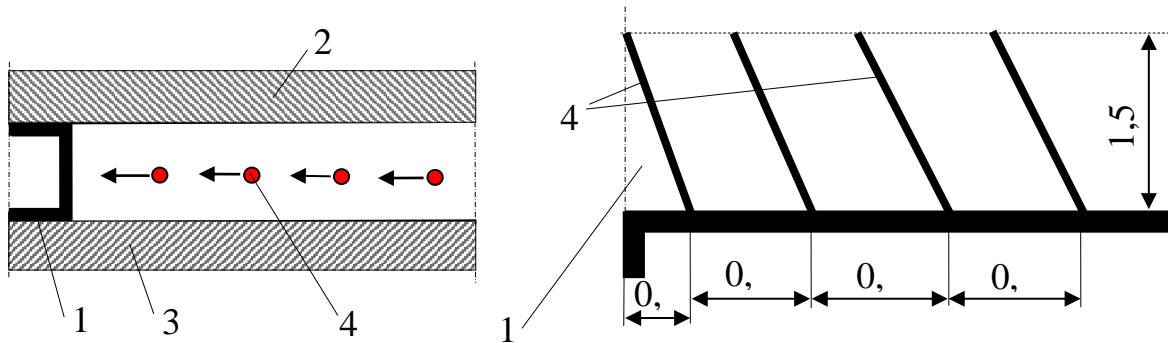


Рис. 6.13. Схема вибухового руйнування вугілля в лаві:

1 – вугільний пласт; 2 – покрівля; 3 – підосва; 4 – заряджені шпури

Якщо відстань між шпурами в рядах однакова, то число шпурів визначають за формулою:

$$N = Ln/a(n = 1, 2, 3 \dots).$$

Рекомендована величина заряду ВР на один шпур:

– 0,2 – 0,4 кг при $l_{ш} = 1,0 \dots 1,3$ м;

– 0,4 – 0,6 кг при $l_{ш} = 1,5 \dots 1,8$ м;

– 0,5 – 0,8 кг при $l_{ш}$ понад 1,9 м.

Відстань між шпурами в ряду на антрацитових пластах знаходиться в межах 1,2...1,8 м.

Відбійка вугілля в лавах з машинним підсіканням, рис. 6.14. При відбійці вугілля за цією схемою шпури бурять перпендикулярно поверхні забою на величину вруба ($l_{вруб} = l_{ш}$) і заряджають їх з розрахунку питомої витрати ВР (типу амонітів ПЖВ-20, Т-19) 0,1 – 0,2 кг/м³.

Утворення ніш в лавах зазвичай роблять за допомогою вибухів, засобів безполум'яного підривання або застосовують відбійні молотки.

У результаті вибуху може утворитися навіс пачки вугілля, рис. 6.15. Щоб цього не сталося, необхідно $l_{ш}$ збільшити на 0,1 – 0,15 м в порівнянні з величиною $l_{вруб}$. У слабкому вугіллі рекомендують вибирати $l_{ш} = l_{вруб} - (0,1 \dots 0,15)$.

При якісному відділенні вугілля від покрівлі відстань, на якій бурять шпури від контуру покрівлі, становить 10 – 20 см (при $m_{пл} \geq 1,2 \dots 2,2$ м). Відстань між шпурами в ряду на антрацитових пластах складає 1,8 – 2,5 м.

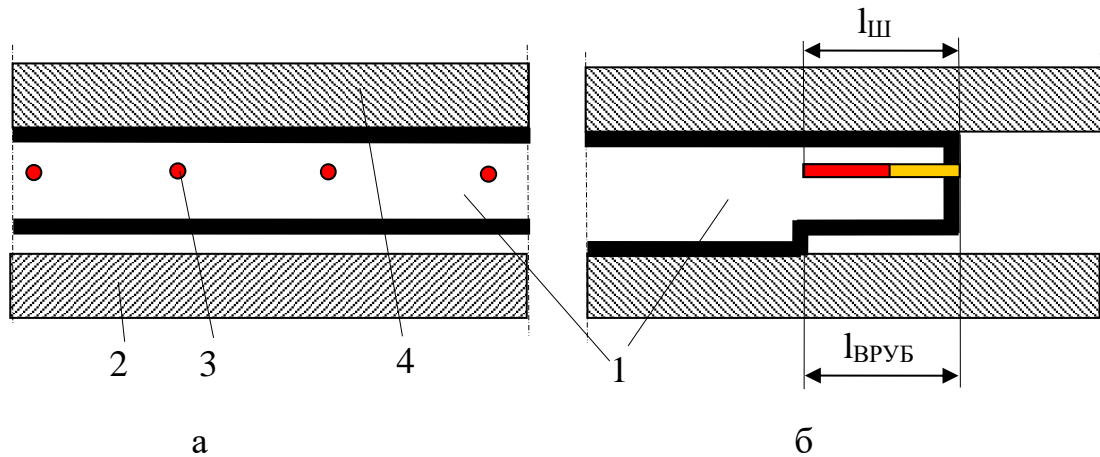


Рис. 6.14. Схема розташування шпурів у вибої при машинному підсіканні вугілля: 1 – вугільний пласт; 2 – підшошва; 3 – шпур із зарядом ВР; 4 – покрівля

У шахтах, небезпечних за вибухом газу і пилу, відбійка підсіченої пачки вугілля із застосуванням ВР дуже небезпечна, оскільки вона під дією власної маси і тиску на неї покрівлі осідає з утворенням тріщин, у яких швидко накопичується метан. Заряд, що перерізає тріщину, може легко запалити вибухову суміш. Тому в процесі машинної підрубки пачку надійно закріплюють підшашками, рис. 6.16.

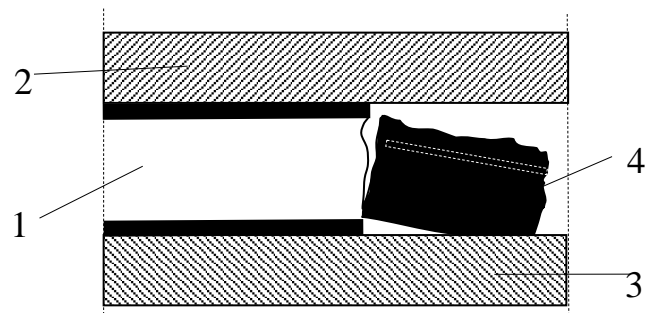


Рис. 6.15. Навіс пачки вугілля:

1 – вугільний пласт; 2 – покрівля; 3 – підшошва; 4 – навіс пачки вугілля

У шахтах, небезпечних за вибухом газу та пилу, при підриванні в вибоях використовують запобіжні ВР в патронах діаметром 36 – 37 мм; в безпечних шахтах – діаметром 36 – 37 і 31 – 32 мм. Для контурного підривання використову-

ють ВР в патронах діаметром 28 мм. При проходці вертикальних стволів застосовують ВР в патронах діаметром 36 – 37 і 44 – 45 мм, для оконтурювання – 32 мм.

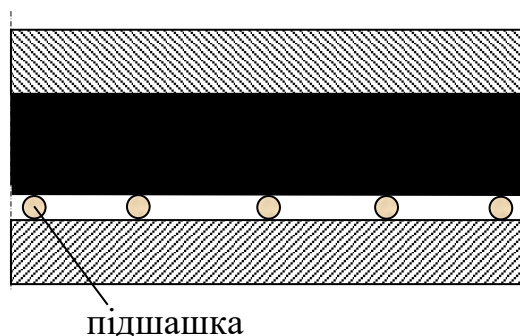


Рис. 6.16. Схема закріплення підтятої пачки вугілля підшашками

У вугільних вибоях бурять шпури на 5 – 8 мм більше діаметра патрона ВР. Діаметр шпурів породних вибоїв на 3 – 5 мм більше діаметра патрона ВР (допускається 2 – 3 мм). Забороняється буріння шпурів занадто зношеними коронками і різцями, діаметр яких менше діаметра патрона ВР.

Вибір глибини шпурів проводиться з урахуванням площі й форми вибою, властивості порід, що підриваються, працездатності ВР, типу бурового обладнання, необхідної величини посування вибою за один вибух.

На практиці обирають таку глибину шпуру:

- 1,5 – 3,0 м – при одній вільній поверхні;
- до 1,8 м – в міцних породах ($f = 7 \dots 20$);
- 1,8 – 2,2 м – у породах середньої міцності ($f = 4 \dots 6$);
- 2,2 – 2,5 м – у слабких породах ($f = 1,5 \dots 3,0$).

Середню глибину шпуру в породних вибоях залежно від величини коефіцієнта міцності за М.М. Протодьяконовим і площі забою в проходці, середню глибину шпурів у вугільних підготовчих вибоях з однією відкритою поверхнею з урахуванням коефіцієнта міцності порід і площі поперечного перерізу вибою знаходять з таблиць.

При проведенні вертикальних стволів шахт глибина шпурів буде:

- 3,0 – 2,6 м, якщо $f = 1,5 \dots 3,0$;
- 2,5 – 2,2 м, якщо $f = 4 \dots 6$;
- 2,1 – 1,5 м, якщо $f = 7 \dots 20$.

6.6. Використання емульсійних ВР під час проходки виробок (результати отримані здобувачем кафедри БГГМ ДВНЗ «НГУ» О.Л. Кириченком)

Уперше в Україні при проходці гірничих виробок в умовах декількох вугільних шахт (табл. 6.3) проведено буропідривні роботи з використанням емульсійних ВР та електричного способу підривання. Для формування зарядів у шпурах діаметром 42 мм використовувалися патрони ЕВР «ЕРА»-РЗ Ø32 мм виробництва Павлоградського хімічного заводу. Паспортом БПР були передбачені схеми підривання з прямим врубом, розташованим у центрі виробки. Ініціація зарядів виконувалася за допомогою електродетонаторів, що забезпечують десять ступенів уповільнення – з I по IV через 15 мс, з IV по VI через 20 мс, з VI по X через 500 мс. Максимальний час уповільнення був обмежений 2000 мс. Як критерії оцінки якості робіт використовувалися показники технологічності, безвідмовності застосування патронів ЕВР, виходи роздроблених фракцій, питома витрата ЕВР і КВШ – η .

Для оцінки параметрів дроблення підірваної гірської породи використовувався фотопланіметричний метод. Отримані після кожного підривання фотопланіграми аналізувалися з використанням системи фотоаналізу «WipFrag».

При проведенні дослідних вибухів проводилися також вимірювання швидкості поширення детонаційної хвилі в шпурових зарядах ЕВР. Методикою вимірювань передбачалося визначення швидкості детонації в шпурових зарядах, розташованих у врубовій площині, які ініціювалися першими.

Сучасні методи розрахунку параметрів БПР засновані на визначенні питомої витрати ВР ($q_{ВВ}$), величина якої залежить від багатьох чинників: фізико-механічних властивостей порід, енергетичних і детонаційних характеристик ВР, діаметра заряду і щільності заряджання ВР, площі поперечного перерізу гірничої виробки тощо.

Питома витрата ВР визначалася за формулою проф. М.М. Протодьяконова:

$$q_{ВВ} = 0,4 \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{S}} \right)^2 ek, \quad (6.1)$$

де f – коефіцієнт міцності порід за шкалою проф. М.М. Протодьяконова;

S – площа поперечного перерізу виробки, m^2 ; e – коефіцієнт, що враховує працездатність ВР; k – коефіцієнт збільшення витрати ВР для додаткового дроблення породи (з досвіду роботи для забезпечення ефективності прибирання гірської маси $k = 1,0 \dots 1,8$ при нормативному значенні $k = 1,2$).

Таблиця 6.3

Основні характеристики прохідницьких вибоїв

Найменування гірничих виробок	Тип гірських порід	Коефіцієнт міцності порід f	Площа поперечного перерізу виробки S , m^2	Довжина західки $l_{зах}$ м	Об'єм породи, $V_{зах}$, m^3 , ($\eta = 0,9$)
<i>Шахта «Должанська-Капітальна»</i>					
Східний конвеєрний уклон № 33	Пісковик	10 – 11	15,9	2,0	28,62
Конвеєрна магістраль, пл. k_6	Піскуватий і глинистий сланці, вугілля	10 – 11	17,9	2,2	35,44
Вентиляційний штрек, пл. l_3		6 – 10	15,9	2,0	28,62
ЦВК, пл. k_6	Пісковик	13 – 14	17,9	2,1	33,83
<i>Шахта «Червоний партизан»</i>					
Проміжний штрек № 1, пл. l_3	Піскуватий і глинистий сланці, вугілля	10 – 11	15,9	2,2	31,48
Проміжний штрек, пл. l_3		10 – 14	15,9	2,2	31,48
ЗКУ, пл. l_3		7 – 8	15,9	1,8	25,76
Західний. відкотний штрек, пл. l_3		10 – 14	17,9	1,8	29,0
<i>Шахта «Центросоюз»</i>					
ЦКУ № 1	Піскуватий і глинистий сланці, вугілля	7 – 9	15,9	1,75	25,0
<i>Шахта «Свердлова»</i>					
ЗВШ, пл. k_5	Глинистий сланець, вугілля	7 – 8	15,9	1,8	19,9
<i>Шахта «Харківська»</i>					
ЗКУ № 104	Піскуватий сланець, вугілля	7 – 9	15,6	2,2	30,9
ЗВШ	Піскуватий сланець, пісковик, вугілля	13	15,6	1,6	22,5

Отримане за формулою (6.1) розрахункове значення $q_{вв}$ слід розглядати орієнтовним, яке в кожному випадку необхідно уточнювати серією дослідних вибухів у конкретних умовах. На підставі результатів розрахунку величини $q_{вв}$ визначалися інші параметри БВР.

Для вибоїв, складених вуглепородним масивом, значення $q_{\text{ВВ}}$ та інші параметри БПР розраховуються окремо для вугілля і порід.

Основні параметри БПР, задані за результатами розрахунків, використані при проведенні серії дослідних вибухів із застосуванням патронів ЕВР ЕРА»-РЗ, табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Основні розрахункові параметри буропідричних робіт

Найменування гірничих виробок	Питомі витрати ВР $q_{\text{ВР}}$, кг/м ³	Витрати ВР на вибій $Q_{\text{ВР}}$, кг	Кількість шпурів $N_{\text{шп}}$, шт	Маса заряду в шпурі $q_{\text{зар}}$, кг
<i>Шахта «Должанська-Капітальна»</i>				
Східний конвеєрний уклон № 33	1,88	54	54	1,0
Конвеєрна магістраль, пл. к ₆	2,38	85	85	1,0
Вентиляційний штрек, пл. л ₃	1,4	40	40	1,0
ЦВК, пл. к ₆	3,0	100	100	0,75 – 1,25
<i>Шахта «Червоний партизан»</i>				
Проміжний штрек № 1, пл. л ₃	1,45	45,5	59	0,75 – 1,0
Проміжний штрек, пл. л ₃	1,56	49	49	1,0
ЗКУ, пл. л ₃	1,55	40	40	1,0
Західний відкотний штрек, пл. л ₃	2,62	76	76	1,0
<i>Шахта «Центросоюз»</i>				
ЦКУ № 1	1,78	44,4	53	0,8 – 1,0
<i>Шахта «Свердлова»</i>				
ЗВШ, пл. к ₅	1,13	24,4	28	0,75
<i>Шахта «Харківська»</i>				
ЗКУ № 104	1,04	32	32	1,0
ЗВШ	1,1	25,5	55	0,75

З огляду на принципову відмінність властивостей ЕВР від порошкоподібних типів вибухових речовин проведена оцінка впливу в'язкопружних властивостей емульсійної маси ЕВР в патроні на характер заповнення шпурів. Для такої оцінки використовували патрони, у яких ЕВР мали пластичні й пружні властивості.

Кращі характеристики отримані при випробуванні патронів ЕВР «ЕРА» з пружними властивостями. При заряджанні таких патронів зберігалась їх геометрія і цілісність оболонки. Щільність заряджання патронами з надрізаною оболонкою відповідала 0,93 – 0,95 г/см³, що на 4 – 5 % вище, ніж патронами з цілої

оболонкою. При цьому використання таких патронів забезпечує технологічність як при формуванні ПБ, так і при заряджанні шпурів без порушення цілісності заряду. Дослідження показали, що швидкість детонації в шпурових зарядах ЕВР «ЕРА» характеризується постійними параметрами 3800...4300 м/с по всій довжині заряду.

У породах міцністю $f < 10$ використання патронів ЕВР дозволяє створювати врубівну порожнину максимального об'єму і найбільшої глибини, гарантуючи ефективну роботу всіх шпурів у вибої виробки з КВШ $\eta = 0,9...1,0$. Крім того, ступінь дроблення таких порід забезпечує ефективне виконання робіт з прибирання підірваної гірської маси породонавантажувальною машиною 2ПНБ-2Б і подальше її транспортування скребковими і стрічковими конвеєрами.

За результатами проведення підірвних робіт із застосуванням ЕВР, які містять у своєму складі до 8 % води, у вуглепородних масивах з $f > 10$ встановлено, що параметри КВШ при відносно однакових умовах ведення підірвних робіт коливаються в діапазоні 0,76 – 0,94.

Для шпурових зарядів $\varnothing 42$ мм і довжиною 1,8 – 2,1 м подані залежності у вигляді графіків на рис. 6.17. При збільшенні параметра $\delta_{\text{шп}} \geq 3$ відбувається зниження значення КВШ, яке стає менше 0,9.

Зниження значення КВШ (менше 0,9 для порід з міцністю $f > 10$ і менше 0,95 для порід з міцністю $f < 10$) при збільшенні кількості шпурових зарядів на 1 м² площі перерізу зумовлено, більшою мірою, зниженням енергоефективності підірвання. При проходженні пружної хвилі стиснення від вибуху шпурового заряду попередньої серії уповільнення відбувається тимчасове стиснення патрона ЕВР до щільності близької до «критичної», що зумовлює зниження енергетичного потенціалу ЕВР. Однак після проходження хвилі стиснення, через час, прямо пропорційний відстані між шпурами, щільність заряду відновлюється до початкових значень, а вибухові характеристики набувають початкових значень.

Залежності, рис. 6.17, можна записати у вигляді рівнянь:

– для порід міцністю $f < 10$:

$$\eta_{f < 10} = -0,0377 \cdot \frac{N_{\text{шп}}}{S} + 1,0521; \quad (6.2)$$

– для порід міцністю $f > 10$:

$$\eta_{f>10} = -0,0462 \cdot \frac{N_{um}}{S} + 1,0343. \quad (6.3)$$



Рис. 6.17. Залежність параметрів η від зміни коефіцієнта $\delta_{шп}$: 1 – для вуглепородних масивів з міцністю $f < 10$; 2 – для вуглепородних масивів з міцністю $f > 10$

З урахуванням (6.1) рівняння (6.2) та (6.3) матимуть вигляд:

$$\eta_{f<10} = -0,0377 \cdot \frac{\left(\frac{1,27 q_{BB} S}{\rho_{BB} d_n^2 k_{зан}} \right)}{S} + 1,0521, \quad (6.4)$$

$$\eta_{f>10} = -0,0462 \cdot \frac{\left(\frac{1,27 q_{BB} S}{\rho_{BB} d_n^2 k_{зан}} \right)}{S} + 1,0343. \quad (6.5)$$

Аналізи фотопланіграм, отриманих за результатами дослідних вибухів в умовах вибоїв шахт «Должанська-Капітальна», «Харківська» і «Центросоюз» у породах з міцністю $f < 10$ і $f > 10$ подані у вигляді графіків, рис. 6.18. Як показує оцінка параметрів дроблення порід з міцністю $f > 10$, при підриванні шпурів із

щільністю заряджання патронів ЕВР від 0,86 до 0,93 г/см³ зі зменшенням щільності розподілу шпурів у забої $\delta_{\text{шп}}$ від 6,0 до 2,05 величина середнього шматка породи може збільшуватися до 1,57 раз і становити від 0,14 до 0,22 м відповідно. Така величина середнього шматка породи є допустимою для вантажної техніки. Для порід з міцністю $f < 10$ вплив щільності розподілу шпурів на вибій виробки менш виражений, зі зменшенням $\delta_{\text{шп}}$ з 3,33 до 2,18 розмір середнього шматка породи збільшується в 1,25 разів і становить від 0,1 до 0,12 м відповідно.

Рівняння (6.4) і (6.5) дозволяють установити оптимальну величину питомої витрати ЕВР для дроблення і викиду породи:

$$q_{\text{ЭВР}} = \frac{(a - \eta) \rho_{\text{ЭВР}} d^2 \cdot k_{\text{зан}}}{b \cdot 1,27}, \quad (6.6)$$

де a – емпіричний параметр; при $f < 10$ $a = 1,0521$, при $f > 10$ $a = 1,0343$; b – емпіричний параметр; при $f < 10$ $b = 0,0377$, при $f > 10$ $b = 0,0462$.

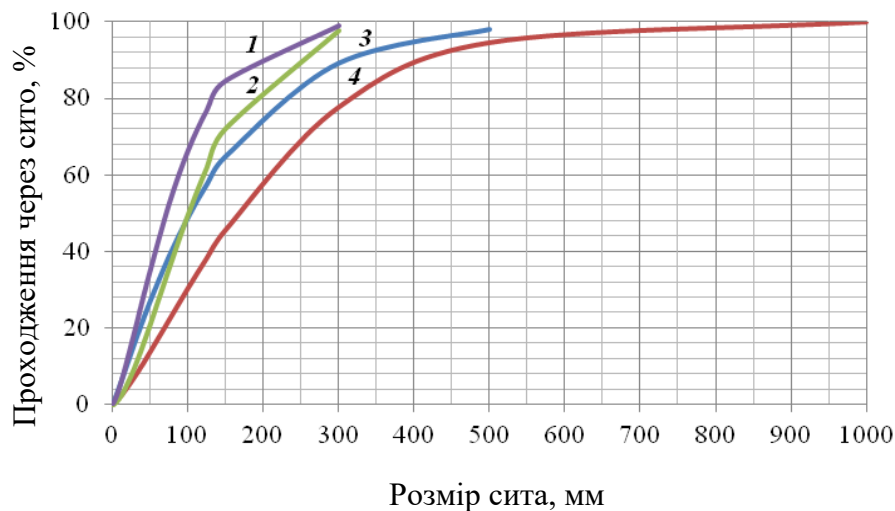


Рис. 6.18. Характеристика гранулометричного складу підірваної гірської маси:

- 1 та 2 – для порід міцністю $f < 10$ при значеннях $\delta_{\text{шп}} = 3,33$ і 2,18 відповідно;
- 3 та 4 – для порід міцністю $f > 10$ при значеннях $\delta_{\text{шп}} = 6$ і 2,02 відповідно

Для оцінки достовірності отриманої залежності порівняємо результати розрахунку питомої витрати ЕВР, розрахованої за рівняннями (6.1) і (6.6). Результати проведеної оцінки наведені на рис. 6.19. Для порівняння на цьому ри-

сунку наведені параметри q_{EVP} , використувані при проведенні дослідних вибухів. Для розрахунку задано: $S = 15,9 \text{ м}^2$; $\rho_{EVP} = 1080 \text{ кг/м}^3$; $k_{зап} = 0,5$; $k = 1,3$.

Таким чином, рівняння (6.6) дозволяє надійно з достатньою точністю визначати параметри q_{EVP} для умов підривання у вуглепородних масивах з $f = 6 \dots 14$. При цьому отримана залежність може бути рекомендована для визначення q_{EVP} у більш міцних породах. Для цього буде потрібно експериментальним шляхом визначити лише коефіцієнти a і b .

В умовах слабостійких порід найбільш ефективним є застосування патронів ЕВР, що мають пружні властивості.

Патрони ЕВР з пластичними властивостями доцільно використовувати в умовах масивів зі стійкими породами або в будь-яких інших породах, але із забезпеченням додаткових заходів з очищення шпурів від залишків породи, що виключають порушення цілісності конструкції заряду.

Залежність впливу щільності розподілу шпурових зарядів ЕВР у забої показує, що:

- для виробок з міцністю порід $f < 10$ зміна щільності заряджання в межах $0,9 - 0,06 \text{ г/см}^3$ і відстаней між шпурами в діапазоні $300 - 900 \text{ мм}$ майже не впливає і забезпечує $KВШ = 0,9 \dots 1,0$;

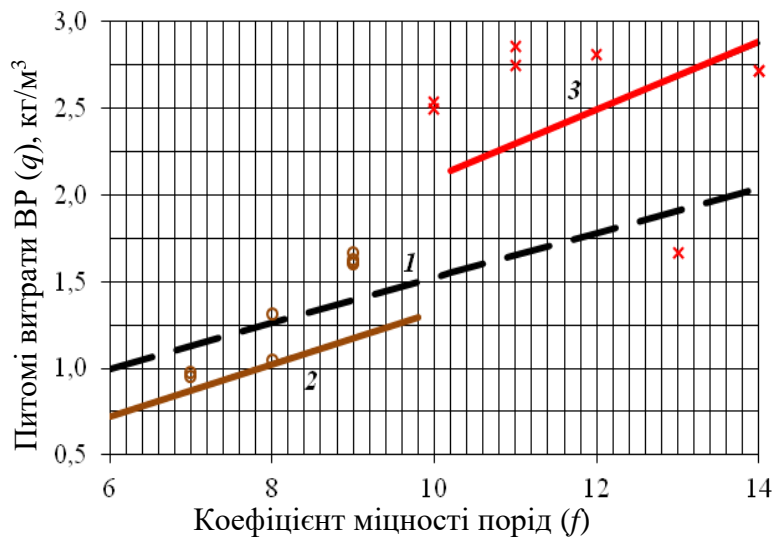


Рис. 6.19. Результати порівняльного аналізу розрахункових (лінія 1, 2 і 3) і фактичних величин $q_{вв}$ (\times – для $f > 10$ і \circ – для $f < 10$) для підривання ЕВР у породах різної міцності: 1 – результати розрахунку $q_{вв}$ за (6.1); 2 і 3 – результати розрахунку $q_{вв}$ за (6.6) для порід міцністю $f < 10$ і $f > 10$ відповідно

– для досягнення КВШ більше 0,9 в породах міцністю $f > 10$ необхідно забезпечувати співвідношення між кількістю шпурів і перерізом виробки на рівні не менше 2 – 2,9 шпурів на м² при зазначених вище умовах за часом уповільнення ініціювання шпурів.

6.7. Поводження з вибуховими матеріалами (НПАОП 0.00-1.66-13)

6.7.1. Підготовка ВМ до використання

Сушіння, подрібнення, просіювання, відтаювання ВР і наповнення оболонок потрібно проводити відповідно до вимог, зазначених у ТУ, та згідно з інструкціями, затвердженими керівником підприємства.

Операції з підготовки ВМ до використання проводяться у спеціальних приміщеннях, будинках підготовки ВМ або на відкритих майданчиках з навісом, розташованих на території складу ВМ. Одноразове сумарне завантаження приміщення підготовки ВМ під час виконання зазначених операцій з ВР не може перевищувати 3 т.

За наявності спеціально підготовленого місця дозволяється збільшення сумарного завантаження приміщення для ВМ, але не більше змінної потреби, за узгодженням з територіальним органом Держгірпромнагляду України.

Сушіння, подрібнення, просіювання ВР і наповнення оболонок на відкритому повітрі, у тому числі із застосуванням спеціальних механізмів, допущених до використання Держгірпромнаглядом України, потрібно виконувати в умовах, що відповідають технологічним режимам цих операцій.

Сушіння патронів ВР на основі АС, що мають вологість до 1,5 %, може проводитися в заводській оболонці. У разі вологості цих ВР більше ніж 1,5 % їх сушіння повинно проводитися розсипом. Температура повітря в приміщеннях для сушіння ВР має бути не вище 50°C.

Сушіння димного пороху потрібно проводити із забезпеченням не вище 40°C.

У разі сушіння ВР столи та полиці, на яких вони розкладаються в приміщенні, повинні знаходитися від нагрітих поверхонь (печей, труб, радіаторів) на відстані не менше 1 м.

У разі сушіння промислових ВР, сенсibilізованих тротилом, дозволяється використовувати повітряні сушарки (шафи, камери) з температурою теплоносія (повітря) не вище 60°C, а для ВР, сенсibilізованих нітроефірами, – з температурою не вище 30°C. У цьому разі калорифер з повітродувкою повинні розміщуватися в ізольованому приміщенні або прибудові.

Забороняється подрібнення ВР, що містять гексоген і нітроефіри та будь-які види порохів.

Відтаювання ВР необхідно проводити в заводській упаковці на поверхневих складах у приміщеннях, що опалюються, із забезпеченням температури повітря не вище 30°C або в підземних складах ВМ. Для контролю за відтаюванням необхідно записувати час надходження та видачі кожної партії ВР.

Робота з порохом в приміщеннях для їх зберігання повинна проводитися у взутті, що не має металевих частин на підошві та каблучках. Інструменти та інший металевий інвентар повинні бути виготовлені з матеріалів, що не дають іскор. Зі сталі можуть виготовлятися тільки викрутки.

Порошкоподібні ВР, що є злежалими, не піддаються розім'яттю руками і не містять гексоген або рідкі нітроефіри, повинні подрібнюватися відповідно до вимог «Правил безпеки ...», після чого можуть використовуватися тільки в шахтах (рудниках), безпечних за вибухом газу і (або) пилу, та шахтах, що розробляють пласти (рудні тіла), безпечні за вибухами пилу, а також при роботах на земній поверхні.

У вугільних і сланцевих шахтах, небезпечних за вибухом газу і (або) пилу, при заряджанні забороняється розрізати оболонку патронів.

6.7.2. Вимоги при поводженні з ВМ під час підривних робіт у підземних умовах

Підривні роботи в шахтах виконуються за умов надійного провітрювання гірничих виробок. У цьому разі кількість ВМ, що підриваються, повинна бути такою, щоб гірничі виробки звільнились від отруйних продуктів вибуху за час міжзмінної перерви або час, передбачений паспортом (проектом) ведення підривних робіт.

У цьому разі необхідно дотримуватися таких правил:

– кількість повітря, що подається у кожний вибій, де проводяться підривні роботи, повинна бути такою, щоб перед допуском робітників до вибою вміст отруйних продуктів вибуху, що виникли під час підривання, був меншим ніж 0,008 % за об'ємом у перерахунку на умовний окис вуглецю. Такого вмісту отруйних продуктів вибуху потрібно досягати не більше ніж за 30 хвилин;

– кількість повітря та час, необхідний для провітрювання вибою від отруйних продуктів вибуху, повинні перевірятися аналізами;

– повітря повинно подаватися у місця підривання у тій самій кількості, в якій воно надходило після підривання до допуску робітників у вибій протягом не менше 2-х годин після допуску робітників.

Виробки, що провітрюються після підривних робіт, повинні бути відгороджені попереджувальним аншлагом з написом «Вхід заборонено, вибій провітрюється, дата та час виконання підривання, № дільниці».

Виробки, що не провітрюються на час ведення підривних робіт, повинні бути закриті решітками.

Під час проведення виробок зустрічними вибоями та збійці виробок у разі наближення цих вибоїв на відстань між ними 15 м і менше ведення підривних робіт дозволяється за умови, що перед початком заряджання шпурів в одному із зустрічних вибоїв всі працівники, які не пов'язані з виконанням підривних робіт, будуть виведені з цих вибоїв у безпечне місце, а перед входом до протилежного вибою буде виставлено пост.

Підривання шпурових зарядів у кожному вибої необхідно вести не одночасно з обов'язковим визначенням розміру цілика між зустрічними вибоями. У цьому разі на кожний окремий випадок підривання зарядів у шпурах підривнику (майстру-підривнику) повинна бути видана наряд-путівка, підписана керівником шахти або призначеною ним посадовою особою.

Підривання зарядів у зміні необхідно проводити в присутності посадової особи, яка керує підривними роботами, лише після того, як буде отримано повідомлення про виведення людей з протилежного вибою та про виставлення там поста. Пост у протилежному вибої може бути знято тільки з відома підривника (майстра-підривника).

Коли розмір цілика між зустрічними вибоями дорівнює або менше ніж 7 м, роботи повинні проводитися тільки в одному вибої в присутності посадової особи,

яка керує підривними роботами в зміні. У цьому разі необхідно бурити випереджувальні шпури глибиною на 1 м більше, ніж глибина шпурів, що заряджаються.

У разі коли у виробках, що збиваються, шахт (рудників), небезпечних за газом та (або) пилом, розмір цілика яких дорівнює 3 м або є меншим, перед підриванням зарядів має проводитись вимір газу і потрібно вжити заходів із забезпечення стійкого провітрювання цих виробок, а також з попередження вибуху газу і пилу. У цьому разі у вибоях вугільних шахт, небезпечних за газом, крім вимірів газу у виробках, що здійснюють посадові особи, які керують роботами в зміні, повинні встановлюватися засоби автоматичного контролю метану.

На вугільних шахтах у разі відстані між виробками, що проводяться паралельно (парно), 15 м і менше, підривання зарядів у кожному з цих вибоїв необхідно проводити тільки після виведення людей з вибою паралельної виробки в безпечне місце і виставлення постів охорони, передбачених у паспорті БПР. Дозволяється не виводити людей з виробки, що паралельна тій, де проводиться вибух, за умови, якщо вибій виробки знаходиться на відстані більше ніж 50 м.

Забороняється ведення підривних робіт на відстані менше ніж 30 м від складу ВМ, дільничного роздавального пункту, роздавальної камери. У разі, якщо відстань становить менше 100 м, працівники зазначених місць зберігання ВМ під час підривних робіт повинні бути виведені з робочих місць.

Ця відстань визначається від місця підривання зарядів до найближчої камери (осередку розташування) ВМ.

Забороняється підривання зарядів, якщо на відстані менше ніж 20 м від місця заряджання знаходиться неприбрана відбита гірська маса, вагонетки або предмети, що захаращують виробку більше, ніж на одну третину її поперечного перерізу.

Визначення місця укриття підривника (майстра-підривника) під час виконання підривних робіт у виробках, що проходяться, та під час дроблення негабаритів необхідно здійснювати відповідно до безпечних відстаней, визначених у проекті (паспорті) ведення підривних робіт.

Під час ведення підривних робіт у лавах на крутих вугільних пластах обов'язковим є наявність «магазину», розміри якого повинні бути достатніми для розміщення відбитого вугілля, подачі до лави необхідної кількості повітря та вільного проходу людей.

Під час підривання зарядів у лавах, камерах і верхніх нішах лав, а також у вентиляційних штреках на вугільних пластах крутого й похилого залягання дозволяється знаходження майстра-підричника у виробках з вихідним струменем повітря за умови виконання вимог «Правил безпеки...» і зазначених у паспортах проведення підривних робіт заходів щодо попередження отруєння людей отруйними газами.

Підривні роботи в штучно заморожених породах або зонах стисненого повітря (кесонах) необхідно проводити відповідно до вимог окремого проекту.

Межі небезпечних зон під час підготовки масових вибухів у підземних умовах необхідно визначати паспортом на конкретний масовий вибух та встановлювати на періоди заряджання, введення ПБ, монтажу підривної мережі.

Межа небезпечної зони під час введення ПБ і монтажу підривної мережі визначається відповідно до дії ударної повітряної хвилі. На межах небезпечної зони за наявності людей у підземних виробках повинні виставлятися пости.

У межах небезпечної зони під час введення ПБ і монтажу підривної мережі можуть знаходитися тільки ті особи, що пов'язані з виконанням цих робіт.

6.7.3. Підривні роботи під час поглиблення стволів шахт або шурфів

Під час проходки та поглиблення стволів шахт підривання зарядів дозволяється проводити тільки з поверхні або з діючого горизонту. Особи, що виконують підривання, повинні перебувати у виробці зі свіжим струменем повітря. Підривання вогневим способом забороняється.

Забороняється спуск-підйом ПБ у прохідницьких баддях, що розвантажуються через дно.

Виконання цих робіт у самоперекидних прохідницьких баддях дозволяється за наявності справних блокувальних пристроїв, що перешкоджають підйому бадді вище нижнього приймального майданчика ствола. Швидкість спуску-підйому не повинна перевищувати 2 м/с у разі руху бадді напрямними і 1 м/с – у разі руху без напрямних.

Спуск у ствол ПБ необхідно проводити окремо від ВР у супроводі підричника (майстра-підричника). У цьому разі у вибої дозволяється перебувати тільки особам, зайнятим під час заряджання шпурів, та машиністу насоса.

На робочому помості та натяжній рамі дозволяється перебувати особам, зайнятим супроводом бадді через розтруби. Інші роботи на цих помостах під час заряджання шпурів забороняються.

Електропідридна мережа у вибої ствола шахти повинна монтуватися за допомогою антенних проводів. Кілочки для установки проводів повинні бути такої висоти, щоб вода не досягала антени.

Підричник (майстер-підричник) повинен здійснювати монтаж електропідривної мережі тільки після виїзду з вибою всіх робітників (крім відповідальних за подачу сигналів і обслуговування прохідницького помосту).

У якості магістральних проводів необхідно застосовувати гнучкий кабель у вологонепроникній оболонці, що не повинен опускатися нижче прохідницького помосту.

Приєднувати сполучні проводи до підривного кабелю та проводити підривання повинен тільки підричник (майстер-підричник), на якого виписана наряд-путівка на ведення підривних робіт.

Після закінчення монтажу підривної мережі та виходу всіх людей на поверхню в стволі повинні бути відкриті всі ляди.

Під час проходки вертикальних стволів шахт всі шпури, що буряться знову, повинні бути зміщені по колу відносно шпурів попереднього циклу без зміни принципової схеми розташування шпурів.

6.7.4. Підривні роботи під час будівництва тунелів і метрополітену

Ведення підривних робіт поблизу підземних та наземних споруд необхідно здійснювати за проектом, узгодженим з власником таких споруд.

Під час проходки стволів шахт у міських умовах і за наявності великого припливу води ПБ дозволяється виготовляти на першому від вибою ствола помості або на спеціально облаштованому помості.

Заряджання шпурів і монтаж підривної мережі на висоті більше ніж 2 м дозволяється проводити тільки з помостів, що примикають до вибою, або з висувних майданчиків укладальників тунельного кріплення та щитів.

Під час проходки тунелів із застосуванням електропідривання до початку заряджання все прохідницьке устаткування повинно бути знеструмлене.

Забороняється виготовлення ПБ безпосередньо на майданчиках укладальника тунельного кріплення або щита.

Під час розсікання верхніх штолень з підняткових забороняється одночасне підривання в протилежних вибоях.

Проводити підривні роботи в калотах дозволено в разі дотримання таких умов:

– гранична маса заряду повинна встановлюватися керівником суб'єкта господарювання (будівельного управління);

– підривання в обох крилах калоти повинно проводитися різночасно.

Зарядження повинно здійснюватися підривниками в присутності посадової особи зміни, відповідальної за безпеку ведення робіт у зміні (на дільниці).

Під час одиночного вогневого підривання в щитовому вибої зарядження та підривання дозволяється проводити одночасно не більше ніж у двох суміжних ярусах.

Під час ведення підривних робіт на одному горизонтальному ярусі дозволяється підривати за один прийом заряди не більше ніж у 10 шпурах. На двох горизонтальних ярусах кількість шпурових зарядів, що одночасно підриваються, не повинна перевищувати восьми.

6.7.5. Ліквідація зарядів, що відмовили

У всіх випадках, коли заряди не можна зніщувати з причин технічного характеру (непереборні порушення підривної мережі тощо), їх необхідно розглядати як заряди, що не здетонували (як відмова). Кожна відмова повинна бути зафіксована у журналі реєстрації відмов при підривних роботах згідно з додатком 10 до Правил [1].

У разі виявлення відмови (або в разі підозри щодо неї) на земній поверхні підривник (майстер-підривник) повинен виставити відповідний знак біля заряду, що відмовив, а в підземних умовах – виставити заборонений знак біля входу у вибій виробки і в обох випадках повідомити про це керівника підприємства.

Роботи, пов'язані з ліквідацією відмов, у тому числі на земній поверхні, необхідно проводити під безпосереднім керівництвом посадової особи відповідно до вимог інструкції з ліквідації відмов, що затверджена керівником

суб'єкта господарювання та погоджена з територіальним органом Держгірпромнагляду України.

У місцях відмов забороняються будь-які роботи, що не пов'язані з ліквідацією відмов.

Проводи виявленого ЕД у заряді, що відмовив, необхідно замкнути накоротко.

Для ліквідації відмови зовнішнього заряду на нього необхідно помістити новий заряд і здійснити підривання у звичайному порядку.

Ліквідацію відмов шпурових зарядів дозволяється проводити підриванням зарядів у допоміжних шпурах, пробурених паралельно до заряду, що відмовив, на відстані не ближче ніж 30 см. Кількість допоміжних шпурів та місця їх закладання повинні визначатися посадовою особою, яка безпосередньо керує підривними роботами в зміні. Для встановлення напрямку таких шпурів дозволяється виймати зі шпуру забивний матеріал на довжину до 20 см від устя.

У виробках шахт (рудників), безпечних за вибухом газу та (або) пилу, у разі виявлення проводів ЕД, що виходять зі шпурового заряду, що відмовив, підривник (майстер-підривник) повинен з безпечного місця перевірити допущеними для таких робіт приладами провідність містка ЕД та за її наявності зніціювати заряд, що відмовив, у звичайному порядку.

На шахтах, небезпечних за газом та (або) пилом, цим способом дозволяється ліквідувати тільки невідкриті заряди, що відмовили, ЛНО яких не змінилися.

У вибоях, де встановлено гідромонітори, дозволяється ліквідувати відмови в шпурах струменем води під наглядом підривника (майстра-підривника) та посадової особи змін, протягом якої відбувається ліквідація відмови. У момент безпосередньої ліквідації відмови у вибої не повинно бути людей, а пуск води необхідно проводити дистанційно. У цьому разі слід вживати заходів з уловлювання ЕД з розмитого ПБ.

Під час дроблення металу та металевих конструкцій для ліквідації шпурових зарядів, що відмовили, необхідно видалити забійку, ввести у шпур новий ПБ та зніціювати його.

Ліквідацію зарядів, що відмовили, необхідно здійснювати способами та засобами з урахуванням типу ВР і ЗІ згідно з ТУ та керівництвами заводів-виробників ВМ. Рішення про спосіб ліквідації зарядів, що відмовили, приймає керівник підриивними роботами.

Ліквідацію свердловинних зарядів, що відмовили, дозволяється проводити:

– підрииванням заряду, що відмовив, у разі, якщо відмова відбулася в результаті порушення цілісності зовнішньої підриивної мережі (коли ЛНО заряду, що відмовив, не зменшилася), проте, якщо під час перевірки ЛНО виявиться можливість небезпечного розкидання шматків породи або впливу ударної повітряної хвилі під час вибуху, то підриивання заряду, що відмовив, забороняється;

– розбиранням породи в місці розташування свердловини із зарядом, що відмовив, з вилученням його вручну;

– із застосуванням екскаватора, якщо виключити безпосередній вплив ковшу на ВМ, для розбирання породи навколо заряду ВР, що відмовив, на основі АС, що не містить у своєму складі нітроефірів, порохів або гексогену, які ініціюються ДШ; у разі неможливості механічного розбирання породи навколо заряду ВР, що відмовив, дозволяється розкривати свердловину шляхом буріння та підриивання шпурових зарядів, розташованих не ближче ніж 1 м від стінки свердловини, тоді кількість й напрямок шпурів, їх глибина та маса окремих зарядів визначаються проектом (паспортом) ведення підриивних робіт або безпосередньо керівником підриивних робіт суб'єкта господарювання;

– підрииванням заряду в свердловині, що пробурена паралельно на відстані не менше ніж 3 м від свердловини із зарядом, що відмовив;

– вимиванням із свердловини заряду ВР групи сумісності D (крім димного пороху) під час ініціювання ДШ.

За неможливості ліквідувати відмову перерахованими способами їх ліквідацію слід здійснювати за проектом, затвердженим керівником суб'єкта господарювання, що веде підриивні роботи.

Ліквідацію відмов з конверсійними ВР необхідно проводити за інструкціями з їх застосування, розробленими виробниками конверсійних ВР.

Ліквідацію зарядів, що відмовили в рукавах, необхідно проводити підрииванням заряду в допоміжному рукаві у свердловині, що пройдена на відстані не

менше ніж одна третина довжини рукава із зарядом, що відмовив, а також вище-зазначеними способами.

Ліквідацію камерних зарядів, що відмовили, необхідно проводити відповідно до вимог проекту (паспорта) ведення підричних робіт, або розбиранням забивки з наступним введенням нового ПБ та ініціюванням зарядів ВР у звичайному порядку (якщо ЛНО заряду, що відмовив, не зменшилася).

Якщо під час перевірки ЛНО виявиться можливість небезпечного розкидання шматків породи або впливу ударно-повітряної хвилі під час вибуху, то підривання заряду, що відмовив, забороняється. У цьому випадку його ліквідацію необхідно проводити розбиранням забивки з наступним вилученням ВР. До моменту ліквідації відмови такі заряди необхідно охороняти.

У тих випадках, коли для ліквідації камерного заряду, що відмовив, необхідно проходити додаткові виробки, ці роботи треба проводити за проектом, затвердженим керівником суб'єкта господарювання.

Після підривання заряду, призначеного для ліквідації заряду, що відмовив, необхідно ретельно оглянути подрібнену масу та зібрати виявлені ВМ. Лише після цього дозволяється допускати працівників до розбирання гірської маси, вживаючи запобіжних заходів безпеки. Виявлені залишки ВМ необхідно знищити відповідно до вимог Порядку знищення вибухових матеріалів промислового призначення, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 06 липня 2006 року № 423, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 14 липня 2006 року за № 827/12701 (далі – НПАОП 0.00-6.03-06).

Ліквідацію зарядів, що відмовили під час масових вибухів, необхідно проводити за проектом, затвердженим керівником суб'єкта господарювання.

Заряд, що відмовив у свердловині (шпурі) під час сейсмозвідувальних робіт, необхідно витягти і після усунення причини відмови опустити на задану глибину. Якщо витягти заряд, що відмовив, не вдається, його необхідно ліквідувати підриванням додатково опущеного накладного заряду. В інших випадках ліквідацію відмови необхідно здійснювати за спеціальним проектом.

У разі відмови прострільного та підричного апарату (ППА) після його піднімання зі свердловини на поверхню підричник повинен від'єднати від підривної магістралі проводи і замкнути їх накоротко, після чого вийняти засоби ініцію-

вання. ППА необхідно доставити у зарядну майстерню. Залишки ВР, що утворилися у ППА в результаті неповного вибуху, необхідно зібрати та знищити в установленому порядку.

Заряди, що відмовили під час дроблення льоду або підводних підривних робіт, дозволяється витягувати не раніше ніж через 15 хвилин після останнього вибуху.

Для ліквідації заряду, що відмовив, до нього необхідно прив'язати новий заряд масою не менше ніж 25 % маси заряду, що відмовив, а потім зініціювати його у воді.

У разі дроблення гарячого масиву, температура якого більше 80°C, підходити до заряду, що відмовив, дозволяється не раніше ніж через одну годину з моменту ініціювання заряду та за умови, що після цього часу не спостерігається інтенсивне розкладання АС. До заряду, що відмовив у гарячому масиві з температурою менше 80°C, дозволяється підходити не раніше ніж через 15 хвилин.

Ліквідацію заряду ВМ, що відмовив у шпурі, необхідно проводити вимиванням водою.

Для ліквідації зарядів, що відмовили під час корчування пнів, забивку зі шпуру (підкопу) необхідно виймати вручну, а на заряді, що відмовив, розмішувати новий і повторно його ініціювати.

Коли роботи з ліквідації зарядів, що відмовили, не можуть бути закінчені впродовж поточної зміни, дозволяється доручати їх продовження підривнику (майстру-підривнику) наступної зміни з відповідним записом у виданій йому наряді-путівці, що підписана керівником суб'єкта господарювання або призначеною ним посадовою особою. У цьому разі допуск працівників до місця ліквідації зарядів, що відмовили, надається посадовою особою зміни, протягом якої відбувається ліквідація відмови.

Ліквідацію зарядів, що відмовили на відкритих гірничих роботах, необхідно проводити в світлі години доби.

Питання для самоконтролю знань

1. Що називається шпуром і якими основними елементами і параметрами він характеризується?
2. Як від міцності породи залежить характер і особливості її руйнування?

3. Які заходи передбачені «Правилами поведження...» [1] в разі утворення "склянки"?
4. Що таке коефіцієнт використання шпуру?
5. Назвіть вимоги, яким повинен відповідати комплект шпурів.
6. Що таке коефіцієнт надлишку перерізу? Які нормативні значення він має?
7. Які шпури називають врубовими? Їх призначення і черговість підри-вання.
8. Які шпури називають відбійними? Їх призначення і черговість підри-вання.
9. Які шпури називають оконтурюючими? Їх призначення і черговість під-ривання.
10. У яких випадках застосовують похилі та врубові шпури?
11. Які вруби називають призматичними (прямими)? Їх призначення та при-клади розташування.
12. Наведіть схему крокуючого пірамідального врубу та охарактеризуйте його роботу.
13. Наведіть приклад схеми застосування прямих врубів з глибокими шпу-рами.
14. Які інтервали уповільнення рекомендуються використовувати між шпу-рами? Поясніть чому рекомендують такі інтервали.
15. Які види забійки дозволені «Правилами поведження...» [1] використо-вувати у вугільних шахтах? Яку функцію виконує забійка?
16. Які можливі причини відмов і вигоряння зарядів?
17. У яких випадках можливий прояв канального ефекту?
18. Чому відбувається прорив газу в сусідній шпур?
19. Яким чином відбувається підвищення гідростатичного тиску в шпурах, до яких наслідків це явище призводить і які заходи боротьби існують з цим яви-щем?
20. Які правила необхідно виконувати для збільшення гарантії якісного підривання?
21. Який сумарний інтервал уповільнення рекомендується по вугіллю і по-роді?
22. Дайте характеристику способам інертизації вибухонебезпечної атмос-фери.

23. Який спосіб називають струсним підриванням і які він має принципові значення?

24. Охарактеризуйте вид струсного підривання, призначений для руйнування породи і вугілля в зонах наближення і віддалення.

25. У чому полягає особливість ведення підривних робіт при перерізі викидонебезпечних пластів?

26. Охарактеризуйте вид струсного підривання, призначений для відбою вугілля, породи і вугілля в заданому перерізі виробки.

27. Охарактеризуйте вид струсного підривання, призначений для руйнування породи в заданому перерізі виробки. На що спрямована оптимізація параметрів підривних робіт?

28. Які способи належать до основних, що знижують інтенсивність викидів при струсному підриванні?

29. Як здійснюється технологія проведення вибухової відбійки вугілля без машинного підсікання?

30. Як здійснюється технологія проведення вибухової відбійки вугілля з машинним підсіканням?

31. Які вживаються заходи, якщо при проведенні зустрічних вибоїв відстань між ними скоротилася до 15 м?

32. Як слід проводити роботи, якщо відстань між зустрічними вибоями дорівнює 7 м і менше?

33. На якій відстані від складу ВМ, дільничного розподільчого пункту і роздавальної камери забороняється ведення підривних робіт?

34. Звідки дозволяється проводити підривання зарядів при проходці й поглибленні ствола шахти?

35. Як при проходженні стволів шахт слід бурити шпури відповідно шпурів попереднього циклу?

36. Як здійснюється сушіння патронів ВР на основі АС?

37. Як відбувається сушіння промислових ВР, сенсibilізованих тротилом і нітроефірами?

38. Які способи ліквідації свердловинних зарядів, що відмовили, ви знаєте?

39. Як проводиться ліквідація шпурових зарядів, що відмовили?

40. У чому особливість ліквідації камерних зарядів ВР?

Список рекомендованої літератури

1. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13 – Луганськ: Луганський ЕТЦ, 2013. – 193 с.
2. Руйнування гірських порід вибухом / М.Р. Шевцов, П.Я. Таранов, В.В. Левіт, О.Г. Гудзь. – Донецьк: Лебідь, 2003. – 272 с.
3. Составы порошковые взрывоподавляющие КСВ-30, КСВ-30М: ТУ 6-18-1.0-87. – 1987. – 14 с.
4. Бубок В.К. Буровзрывные работы и проходка горных выработок: учеб. пособие / В.К. Бубок, Ю.М. Мисник, Е.Г. Карпунов. – Ленинград: изд-во ЛГИ, 1986. – 100 с.
5. Генералов М.Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: учеб. пособие / М.Б. Генералов. – Москва: Академкнига, 2004. – 397 с.
6. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом (взрывные технологии в промышленности) / Б.Н. Кутузов. – Москва: МГУ, 1994. – 448 с.
7. Матвейчук В.В. Взрывное дело (Внимание, взрыв): учеб.-практ. пособие / В.В. Матвейчук. – Москва: Академический Проект, 2005. – 512 с.
8. Формирование выбросоопасных зон в углепородном массиве и способы предотвращения выбросоопасности на шахтах / А.И. Жаров, Н.Н. Красюк, А.В. Ремезов и др. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2006. – 92 с.

7. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ У МІСЬКИХ УМОВАХ

(НПАОП 0.00-1.66-13)

У розділі наведено основні вимоги до проектної документації та правила безпеки під час виконання підривних робіт у міських умовах.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти:

- складати проектну документацію на виконання підривних робіт;*
- вибирати та організовувати підривні роботи в міських умовах;*
- вибирати заходи з техніки безпеки при підривних роботах в міських умовах.*

7.1. Вимоги до проектної документації

Підривні роботи здійснюються на підставі проектно-технічної документації, затвердженої відповідно до вимог НПАОП 0.00-6.07-06.

Проектування підривних робіт здійснюється:

- суб'єктом господарювання, на якому проводяться підривні роботи та який має відповідні технічні служби і виконує підривні роботи;
- суб'єктом господарювання, на якому проводяться підривні роботи підприємним способом та який має відповідні технічні служби;
- підрядною організацією, що виконує підривні роботи за умови погодження проектної документації з суб'єктом господарювання, на якому проводяться підривні роботи.

Типовий проект ведення підривних робіт має містити:

- короткі геологічну і гідрогеологічну характеристики порід і корисних копалин, їх класифікації щодо міцності, тріщинуватості, буримості, підривності;
- методики та загальні розрахунки параметрів бурових і підривних робіт;
- обґрунтування вибору діаметрів свердловин і шпурів, ВР і засобів ініціювання, засобів механізації БПР, підривних і контрольно-вимірювальних приладів;
- способи підривання, схеми підривної мережі, конструкції зарядів і ПБ;
- організацію ведення підривних робіт;
- методики розрахунку інтервалів уповільнення та прийняті інтервали;
- параметри розміщення свердловин, витратні коефіцієнти та розрахункові

показники вибухів (питомі витрати ВР, вихід гірської маси з одного метра свердловини тощо);

- методики розрахунку безпечних відстаней;
- підривні методи подрібнення негабаритів;
- типовий порядок і організацію робіт щодо ліквідації зарядів, які не спрацювали;
- конкретні заходи щодо безпечної організації бурових і підривних робіт;
- порядок доставки та розміщення ВМ під час підготовки та проведення масових вибухів;
- схеми вентиляції із зазначенням свіжого та вихідного потоку повітря і порядок контролю загазованості рудникової атмосфери шкідливими газами;
- систему оповіщення зацікавлених підприємств, установ та організацій, органів місцевого самоврядування і населення щодо проведення вибуху;
- місця встановлення вказівників (попереджувальних знаків, інформаційних табло тощо) по периметру заборонених зон для інформування населення про небезпеку, що безпосередньо загрожує населенню;
- розташування постів охорони небезпечної зони, місця укриття людей поза небезпечною зоною;
- вимоги до порядку виведення людей за межі забороненої та небезпечної зон;
- порядок допуску працівників державної аварійно-рятувальної служби (ДАРС) для контролю за загазованості рудникової атмосфери, підривників для визначення повноти вибуху та працівників на свої робочі місця після масових вибухів;
- необхідну графічну документацію.

Під час проектування масових вибухів до паспорта на вибух потрібно включати розділ, що визначає необхідні заходи безпеки, у тому числі:

- провітрювання всіх виробок, у які можуть потрапити газоподібні продукти вибуху;
- порядок допуску людей до місць, перебування в яких може становити небезпеку.

Паспорт масових вибухів на гірничих роботах складається на підставі затвердженого керівником суб'єкта господарювання типового проекту ведення підривних робіт з урахуванням геологічних і гідрогеологічних характеристик бло-

ків, що підриваються, результатів попередніх вибухів і вимог відповідних нормативних документів. Паспорт повинен містити розрахунки та графічні матеріали, що необхідні для визначення параметрів безпеки в конкретних умовах проведення масових вибухів.

Одночасне проведення масових вибухів та подрібнення негабаритів підричним способом необхідно здійснювати на підставі затвердженого керівником суб'єкта господарювання єдиного паспорта ведення підричних робіт. У цьому разі забороняється розташування негабариту під блоком, що підривається.

У разі окремого проведення підричних робіт з подрібнення негабаритів роботи необхідно здійснювати за відповідним паспортом ведення підричних робіт.

Проект ведення спеціальних підричних робіт повинен містити розрахункові дані, графічні матеріали та організаційні заходи, що забезпечують необхідний рівень безпеки. У проектах спеціальних підричних робіт необхідно:

- відображати заходи щодо попередження вибуху горючих газів на болотах;

- визначати склад бригад на виконання підводних підричних робіт;

- під час виконання підричних робіт по металу передбачати оснащення засобів для підйому та переміщення технологічного устаткування зі змонтованим на ньому зарядом двома гальмами, що діють незалежно один від одного, а також кінцевими вимикачами автоматичної зупинки;

- під час руйнування будівель, споруд, водонапірних веж, димових та інших труб, фундаментів тощо в умовах населених пунктів передбачати заходи безпеки в разі неповного їх руйнування;

- в охоронній зоні відкритого або закритого (поглибленого) магістрального трубопроводу передбачати заходи щодо збереження трубопроводу і споруд, а також виконання інших умов, встановлених суб'єктом господарювання, який експлуатує трубопровід.

Безпечні відстані для людей під час проведення підричних робіт (робіт з ВМ) необхідно визначати в проекті або паспорті ведення підричних робіт.

Безпечні відстані повинні бути такими, щоб виключити нещасні випадки з людьми. За безпечну відстань необхідно приймати найбільшу з розрахованих за різними уражаючими чинниками.

Для захисту будинків і споруд від сейсмічного впливу під час підричних робіт і робіт з ВМ маса зарядів ВР, що підриваються одночасно, має бути такою,

щоб вибух виключав пошкодження цих об'єктів відповідно до чинного законодавства.

Умови підривання, не передбачені вищезазначеними документами, і такі чинники, як напрямок сейсмічної дії групи зарядів великої довжини, наявність пошкоджень будинків під час повторних вибухів, особливості сейсмічної дії потужних (1000 т ВР і більше) вибухів, необхідно визначати із залученням спеціалізованих організацій.

У разі розміщення на земній поверхні декількох об'єктів з ВМ – сховищ, відкритих майданчиків, пунктів виготовлення, підготовки ВР тощо – між ними слід забезпечувати відстані, що виключають можливість передачі детонації під час вибуху ВМ на одному з об'єктів. Безпечні відстані розраховуються відповідно до розділів XIII...XV «Правил безпеки...» (НПАОП 0.00-1.66-13).

Для захисту людей, будинків, споруд, місць перебування людей і розміщення об'єктів, що підлягають охороні від уражаючої та руйнівної дії повітряної хвилі, між місцями можливого вибуху (зберігання ВМ) необхідно визначити і витримувати встановлені відповідно до НПАОП 0.00-1.66-13 відстані, що забезпечують безпеку в небезпечній зоні. У цьому разі безпечні відстані необхідно визначати відносно місць можливих вибухів складів ВМ, майданчиків для зберігання ВР і ЗІ, місць відстою, навантажування і розвантажування транспортних засобів з ВМ і подібних об'єктів.

Під час підривних робіт на відкритій місцевості мінімально допустимі безпечні відстані для людей визначені табл. 7.1.

Безпечні відстані за дією ударної повітряної хвилі на земній поверхні необхідно розраховувати відповідно до чинного законодавства.

Безпечні відстані за дією ударної повітряної хвилі у підземних умовах необхідно визначати за спеціальними проектами відповідно до конкретних гірничо-геологічних умов.

7.2. Підривні роботи під час руйнування будівель і споруд

У проектах ведення підривних робіт разом з розв'язанням інших питань необхідно визначати напрямок звалювання об'єкта, а також заходи на випадок неповного його руйнування вибухом.

Забороняється заряджання шпурів (свердловин), що розкрили пустоти в масиві об'єкта, який підлягає руйнуванню.

Перший попереджувальний сигнал необхідно подавати перед укладанням у заряди ПБ з ЕД, а у разі підривання за допомогою ДШ або НСІ – перед початком монтування підривної мережі.

Таблиця 7.1

**Мінімально допустимі безпечні відстані для людей
(Додаток 9 НПАОП 0.00-1.66-13)**

Види та методи підривних робіт	Мінімально допустимі величини радіусів небезпечних зон, м
<i>1</i>	<i>2</i>
I. Підривання на відкритих роботах:	
1) метод зовнішніх зарядів, у тому числі кумулятивних	300 за проектом
2) метод шпурових зарядів	200 ¹
3) метод котлових зарядів	200 ¹
4) метод малокамерних зарядів (рукавів)	200 ¹
5) метод свердловинних зарядів	не менше ніж 200 ²
6) метод котлових свердловин	не менше ніж 300
7) метод камерних зарядів	не менше ніж 300
II. Дроблення валунів зарядами в підкопах	400
III. Корчування пнів	200
IV. Прокладання захисних смуг у ґрунті при боротьбі з лісовими пожежами	50
V. Підривання при посадці насипів на болотах	100
VI. Днопоглиблювальні роботи:	
1) без крижаного покриття на поверхні водного басейна:	
а) у разі вибуху в нескельних ґрунтах	100
б) у разі вибуху в скельних ґрунтах	
шпурових зарядів	50
накладних зарядів менше ніж 100 кг	200
накладних зарядів більше ніж 100 кг	300
2) у разі крижаного покриття незалежно від властивостей ґрунтів, на яких проводиться вибух	200
VII. Льодоходні роботи:	
1) дроблення крижаного покриву товщиною менше ніж 1 м	100
2) дроблення льоду товщиною 1 – 2 м	200
3) руйнування заторів	200
4) підривні роботи по шузі	50
5) дроблення льоду товщиною більше ніж 2 м і заторів зарядами вагою більше ніж 300 кг	300
VIII. Підривні роботи з металом:	
1) на відкритих полігонах	за проектом
2) у бронях	30
3) на території заводських майданчиків	за проектом ³
4) у гарячих масивах	30
5) штампування виробів	25

<i>1</i>	<i>2</i>
ІХ. Валка будинків і споруд	100
Х. Дроблення фундаментів	200
ХІ. Прострілювання шпурів для утворення котлових зарядів	50
ХІІ. Прострілювання свердловин для утворення котлових зарядів	100
ХІІІ. Торпедування та перфорації нафтових, газових і артезіанських свердловин	50
ХІV. Вибухи для сейсмічної розвідки:	
1) у шурфах і на земній поверхні	100
2) у свердловинах	30
ХV. Підривні роботи на будмайданчику	за проектом ³

Примітки:

¹ У разі вибухів на косогорах у напрямку вниз по схилу величину радіуса небезпечної зони визначають з урахуванням кута косогорності.

² Радіус небезпечної зони визначений для випадку вибуху зарядів із забійкою.

³ В проекті треба визначати заходи для забезпечення безпеки людей.

Сигнал «Відбій» можна подавати тільки за розпорядженням відповідальної за проведення вибуху посадової особи, яка призначена відповідним розпорядчим документом керівника суб'єкта господарювання, після того, як вона разом зі старшим підривником огляне місце вибуху.

Під час проведення підривних робіт за наявності в небезпечній зоні котлів, трубопроводів та інших об'єктів, що перебувають під тиском, тиск необхідно знизити до меж, погоджених із суб'єктами господарювання, що експлуатують ці об'єкти.

7.3. Підривні роботи в гарячих масивах

Підривні роботи в гарячих масивах проводяться згідно з проектом (паспортом) ведення підривних робіт, розробленим відповідно до вимог НПАОП 0.00-6.07-06 і вимог чинного законодавства.

Для підривних робіт у гарячих масивах дозволяється застосовувати ВР групи D (крім димного пороху). Електричний спосіб підривання забороняється.

Вибухові речовини без термоізоляційної оболонки дозволяється заряджати за температури в шпурі (свердловині, рукаві) до 80°C. У цьому разі ПБ необхідно

додатково впаковувати в пергаментний, крафт-целюлозний або обгортковий папір.

Необхідно випробувувати термічну надійність пакування ПБ шляхом розміщення впакованої запалювальної трубки в шпурі. Якщо детонатор вибухне раніше ніж за 5 хвилин, товщину пакування необхідно збільшити.

Забороняється заряджати і підривати заряди у шпурах за температури, що перевищує 200°C.

За температури в шпурі (свердловині, рукаві), що перевищує 80 °С, заряд ВР необхідно поміщувати в загальну термоізоляційну оболонку. Вибух необхідно проводити за допомогою запалювальної трубки з довжиною вогнепровідного шнура не менше ніж 60 см. Запалювальна трубка разом з КД повинна бути обгорнена в загальну термоізоляційну оболонку. Заряд ВР може бути складений з декількох патронів у термоізоляційній оболонці, один з яких повинен бути ПБ.

Забороняється скручувати та згортати ВШ усередині ізоляційної оболонки ПБ та поза нею.

Дозволяється одночасне зарядження та підривання не більше п'яти зарядів за температури в шпурі (свердловині, рукаві) 45 – 80°C і не більше одного – за температури понад 80°C. За температури в шпурі менше ніж 45°C кількість зарядів не обмежується.

Забороняється застосування зовнішніх зарядів у гарячих масивах з температурою понад 80°C, крім виняткових випадків, за умови погодження з територіальним органом Держгірпромнагляду України.

До початку зарядження шпурів посадова особа, яка призначена відповідним розпорядчим документом керівника суб'єкта господарювання, повинна заміряти температуру гарячого масиву. Дозвіл на зарядження посадова особа дає тільки за температури в гарячому масиві 81 – 200°C.

Роботи із зарядження та забивання шпурів (свердловин) проводяться двома підривниками в присутності посадової особи, яка призначена відповідним розпорядчим документом керівника суб'єкта господарювання для керування підривними роботами.

Якщо впродовж чотирьох хвилин підривники не встигли закінчити зарядження всіх шпурів, посадова особа, яка керує підривними роботами, повинна негайно припинити зарядження та вивести людей у безпечне місце.

7.4. Підrivні роботи у підrivних камерах і бронелях

Підrivні роботи дозволяється виконувати в бронелях, що споруджені по спеціальному проекту після прийняття їх в експлуатацію комісією підприємства за участю представника територіального органу Держгірпромнагляду України.

Перед уведенням бронелями в експлуатацію, а також після ремонту або заміни хоча б частини броневих плит, кришки або стін, бронелям необхідно випробувати на міцність триразовим вибухом зарядів подвоєної (проти максимально застосовної) маси, розміщених у виробках згідно з проектом. Після кожного вибуху бронелям необхідно провітрювати.

Кожна бронеля повинна мати два окремих виходи. Маса кришки для бронелями та її конструкція повинна виключати можливість зрушення або руйнування її під час вибухів.

Навколо бронелями на відстані від неї не менше ніж 30 м повинна бути встановлена огорожа, а на під'їзних шляхах – шлагбауми.

Перевіряти, транспортувати, зберігати та знищувати вибухонебезпечний металобрухт необхідно з вимогами чинного законодавства.

Змінний запас ВМ для виконання підrivних робіт у бронелях дозволяється зберігати в зарядному приміщенні, розташованому на огороженій території бронелями на відстані не менше ніж 30 м від місця підrivання. Двері приміщення повинні бути обладнані міцними надійними замками (не менше двох).

Вибухові речовини та ЗІ повинні зберігатися в окремих ізольованих кімнатах (секціях) будинку підготовки ВР під наглядом підrivника або озброєної варти.

Під час проведення підrivних робіт у бронелях дозволяється використання електричного освітлення з напругою не вище 12 В. Перед початком заряджання електричне освітлення має бути вилучене з ями, а подальша робота повинна виконуватися з використанням рудникових акумуляторних світильників.

Завантаження та розвантаження бронелями дозволяється виконувати тільки кранами.

Забороняється присутність підrivників у бронелях під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт.

Необхідно забезпечити вільний підхід для піднесення ВМ до місця виконання підrivних робіт і відхід підrivників у безпечне місце.

Контроль за виконанням підривних робіт у бронях покладається на майстра дільниці підривних робіт.

До початку проведення підривних робіт їх керівник (майстер) зобов'язаний перевірити броню на придатність до експлуатації, а саме:

- справність звукової та світлової сигналізації;
- працездатність систем вентиляції та відкачки води;
- справність електроосвітлення, у тому числі акумуляторних ліхтарів;
- відсутність тріщин у броневих плитах кришки бронями і стін та дефектів у їх кріпленнях;
- відсутність завислих осколків металу;
- справність пересувного механізму кришки;
- справність кранового обладнання (виконується кранівником).

Забороняється проведення підривних робіт у несправній броні.

У разі одноразового подрібнення металоконструкцій декількома зарядами підривати їх необхідно з використанням ДШ, НСІ. Під час підривання поодиноких зарядів дозволяється використання вогневого підривання.

Після кожного вибуху броню необхідно провітрювати. Тривалість провітрювання визначається інструкцією з експлуатації бронями.

Забороняється огляд місця вибуху та виконання робіт у непровітреній від отруйних газів броні.

Під час підготовки масиву до підривних робіт всі шлакові та металеві напливи на ньому від пропалювання рукавів киснем повинні бути видалені.

Завантаження масивів у броні дозволяється тільки після охолодження їх до температури нижче 80°C.

Масиви надійно встановлюються на дно броні з вертикальною орієнтацією рукавів із забезпеченням вільного доступу для заряджання та набивки рукавів. Установлення масивів проти виходів з броні забороняється.

Патрони-бойовики виготовляються тільки на місцях проведення підривних робіт.

Відрізки ДШ, що вводяться в рукави, нарізаються одночасно.

Під час заряджання рукавів внаслідок маса кожної порції ВР не повинна перевищувати 200 г. Ущільнення кожної порції в рукаві виконується підштовхуванням дерев'яним набійником (без ударів).

Заряджання рукавів з драбин виконується двома підривниками.

Під час підривання за допомогою ДШ дозволяється перший (попереджувальний) сигнал подавати перед початком монтажу підривної мережі.

Після першого сигналу всіх працівників, у тому числі й підричників, необхідно вивести за межі небезпечної зони (а підричника, який виконує підривання, – в укриття), виставити пости оточення небезпечної зони. Майстер повинен ще раз перевірити відсутність людей у небезпечній зоні, переконатися в тому, що пости оточення небезпечної зони знаходяться на своїх місцях та заходи із запобігання розсіянню осколків виконані, після чого подає другий (бойовий) сигнал. За цим сигналом підричник повинен змонтувати підривну мережу і здійснити вибух.

Ліквідацію зарядів, що відмовили, проводять видуванням забивки та введенням у рукав нового ПБ.

У разі пробитих наскрізних рукавів їх необхідно до повторного заряджання в нижній частині забити папером, азбестом тощо, а потім засипати піском на висоту 0,1 – 0,2 м. Підсипку необхідно щільно утрамбувати набійкою.

Після закінчення підривних робіт треба подати сигнал «Відбій». За цим сигналом кранова бригада після отримання дозволу майстра дільниці підривних робіт може приступати до відвантаження металобрухту з бронями.

7.5. Підривні роботи під час оброблення металів енергією вибуху

Підривні роботи під час оброблення металів енергією вибуху необхідно виконувати за проектами відповідно до вимог цих НПАОП 0.00-6.07-06. За необхідності суб'єкт господарювання в установленому порядку повинен розробити і затвердити за погодженням з Держгірпромнаглядом України відповідні інструкції, що враховують специфічні особливості безпеки під час відповідних способів оброблення металів енергією вибуху.

Конструкції приміщень і майданчиків, де проводять оброблення металів енергією вибуху, необхідно розраховувати на вибух максимально допустимої маси заряду. Такі приміщення та майданчики приймають в експлуатацію комісії суб'єкта господарювання за участю представників Держгірпромнагляду України. Щороку ці приміщення та майданчики необхідно оглядати комісіями суб'єкта господарювання зі складанням акта щодо можливості їх подальшого експлуатування.

Засоби, призначені для піднімання та переміщення технологічного оснащення зі змонтованим на ньому зарядом, необхідно обладнати двома гальмами, що діють незалежно одне від одного, а також кінцевими вимикачами автоматичної зупинки.

Вантажопідіймальні засоби необхідно заземлювати, вони повинні мати справну ізоляцію.

Заряди слід готувати в спеціально облаштованому приміщенні. У ньому можна зберігати змінний запас ВМ, але не більше ніж 10 кг ВР і відповідної кількості ЗІ. Ключі від цього приміщення впродовж зберігання у ньому ВМ повинні бути тільки у підривника.

Для ініціювання зарядів дозволяється використання вогневого підривання та підривання з використанням ДШ. Підривання з використанням ЕД дозволяється тільки під час обробки металу енергією вибуху, а також під час застосування ЕД, нечутливих до блукаючих струмів, якщо температура масиву, що буде підриватися, не досягає 50°C.

7.6. Підривні роботи під час дроблення матеріалів

Під час проведення підривних робіт з дроблення руди, вугілля, рудних концентратів, металевої стружки, що змерзлися, забороняється застосування ВР, що містять рідкі нітроефіри.

Забороняється застосування електричного ініціювання для розпушування металевої стружки.

Забороняється розпушування вибухом мінеральних добрив на основі АС та інших селітр.

Дозволяється розпушування харчової солі (що знаходиться в штабелях, буртах і закритих складах) способом підривання із застосуванням КД з паперовою гільзою або ДШ.

7.7. Визначення безпечних відстаней при виконанні підричних робіт

7.7.1. Визначення відстаней, безпечних за розкиданням кусків породи

Відстань $r_{роз}$, що є небезпечною для людей за розкиданням окремих кусків породи під час масових вибухів свердловинних зарядів, розрахованих на дроблення і розпушування гірського масиву, визначають за формулою:

$$r_{роз} = 1250\eta_3 \{fd / [(1+\eta_{заб})a]\}^{0,5}, \text{ м}, \quad (7.1)$$

де η_3 – коефіцієнт заповнення свердловини ВР; f – коефіцієнт міцності породи за шкалою проф. М.М. Протодьяконова; d – діаметр свердловини, м; $\eta_{заб}$ – коефіцієнт заповнення свердловини забивкою; a – відстань між свердловинами в ряду або між рядами, м.

Коефіцієнт заповнення свердловини ВР чисельно дорівнює відношенню довжини заряду в свердловині l_3 , м, до глибини пробуреної свердловини L , м:

$$\eta_3 = l_3 / L. \quad (7.2)$$

Коефіцієнт заповнення свердловини забійкою $\eta_{заб}$ дорівнює відношенню довжини забійки $l_{заб}$ до довжини вільної від заряду верхньої частини свердловини l_H , м:

$$\eta_{заб} = l_{заб} / l_H. \quad (7.3)$$

У разі цілковитого заповнення забійкою вільної від заряду верхньої ділянки свердловини $\eta_{заб} = 1$, у випадку підривання без забивки – $\eta_{заб} = 0$.

Коефіцієнт міцності породи:

$$f = \sigma_{ст} / 100, \quad (7.4)$$

де $\sigma_{ст}$ – границя міцності породи на одновісне стискання за стандартного випробування зразків правильної форми, кгс/см² (1 кгс/см² = 98066,5 Па).

Під час ведення підричних робіт у гірських породах, класифікацію яких здійснено за будівельними нормами та правилами, у разі недостатньої показності даних з міцносних характеристик ґрунтів, що розробляються, ($\sigma_{ст}$), коефіцієнт міцності f визначають за формулою:

$$f = (F / 2,5)^2, \quad (7.5)$$

де F – номер групи ґрунтів, що підлягають вибуху, за будівельними нормами.

Під час підривання серії свердловинних зарядів однакового діаметра зі змінними параметрами a , η_3 , $\eta_{заб}$ розрахунок безпечної відстані за формулою (7.1) треба проводити за найменшими значеннями a , $\eta_{заб}$ і найбільшим η_3 з усіх наявних у цій серії.

Якщо ділянка масиву, що підлягає підриванню, представлена породами з різною міцністю, необхідно в розрахунку $r_{роз}$ приймати максимальне значення коефіцієнта міцності ґрунту f . Під час підривання паралельно зближених (кущів, пучків) свердловинних зарядів діаметром d необхідно приймати їхній еквівалентний діаметр:

$$d_3 = dN_3^{0,5}, \quad (7.6)$$

де N_3 – число паралельно зближених свердловин у кущі (пучку).

Під час визначення небезпечних відстаней необхідно враховувати можливі в процесі проведення підричних робіт відхилення окремих параметрів свердловинних зарядів a , η_3 , $\eta_{заб}$ від заданих проектних значень. Тому розрахунок $r_{роз}$ за формулою (7.1) необхідно проводити з певним запасом, приймаючи для цього мінімально можливі в процесі ведення підричних робіт значення параметрів a , $\eta_{заб}$ і максимально можливе значення η_3 .

У разі ведення вибухів на косогорах, а також в умовах перевищення верхньої відмітки вибухової ділянки над ділянками границі небезпечної зони більше ніж на 30 м розміри небезпечної зони $r_{роз}$ у напрямку донизу по схилу треба збільшувати відповідно до формули:

$$R_{раз} = r_{роз}K_p, \quad (7.7)$$

де $R_{\text{раз}}$ – небезпечна відстань за розкиданням окремих кусків породи в бік нахилу косогору або місцевості, розташованої нижче ніж 30 м від верхньої відмітки вибухової ділянки; K_p – коефіцієнт, що враховує особливості рельєфу місцевості. Під час проведення підривних робіт на косогорі:

$$K_p = 1 + \operatorname{tg}\beta, \quad (7.8)$$

де β – кут нахилу косогору до горизонту, град.

У тих випадках, коли замість кута β відоме перевищення місця підривання над границею небезпечної зони:

$$K_p = 0,5 \{ 1 + [1 + (4H / r_{\text{роз}})]^{0,5} \}, \quad (7.9)$$

де H – перевищення верхньої відмітки вибухової ділянки, над ділянкою границі небезпечної зони, м.

Якщо в якомусь напрямку границя небезпечної зони, розрахована за формулою (7.1) або (7.7), проходить схилом, треба враховувати можливе скочування окремих кусків породи та збільшувати в цьому напрямку безпечну відстань. Відстань скочування кусків треба визначати експериментально в конкретних умовах. Так само необхідно враховувати вплив сили вітру на можливе збільшення дальності розкидання кусків породи. Вплив цього чинника потрібно визначати за вимогами типових методик згідно з результатами кінозйомки розкидання породних кусків при масових вибухах.

Розрахункове значення небезпечної відстані округлюють у бік збільшення до значення, кратного 50 м. Остаточна прийнята у цьому разі безпечна відстань не повинна бути меншою за мінімальні відстані, зазначені в «Правилах безпеки ...» (НПАОП 0.00-1.66-13).

Безпечні відстані від місця вибуху до механізмів, будинків, споруд визначають у проекті ведення підривних робіт з урахуванням конкретних умов.

Відстані, безпечні за розкиданням окремих кусків породи під час вибухів на викидання та скидання, визначають за табл. 7.2 (табл. 1, додаток 37, НПАОП 0.00-1.66-13) залежно від показника дії вибуху заряду n і лінії найменшого опору W .

**Безпечні для людей відстані за розкиданням кусків породи
при вибухах на викидання та скидання**

Лінія найменшого опору, W , м	Радіус небезпечної зони (м) для людей при значенні показників дії вибуху заряду n			
	1,0	1,5	2,0	2,5 – 3,0
1,5	200	300	350	400
2,0	200	400	500	600
4,0	300	500	700	800
6,0	300	600	800	1000
8,0	400	600	800	1000
10,0	500	700	900	1000
12,0	500	700	900	1200.
20,0	700	800	1200	1500
25,0	800	1000	1500	1800
30,0	800	1000	1700	2000

Примітка. Під час вибухів на косогорах або в умовах перевищення верхньої відмітки вибухової ділянки над ділянками границі небезпечної зони безпечно відстань треба збільшувати в 1,5 рази.

Під час вибухів серії зарядів з різними значеннями W радіус небезпечної зони визначають за табл. 7.2 (табл. 1, додаток 37 «Правил безпеки ...» НПАОП 0.00-1.66-13). За початкову величину приймають найбільше значення W за умови однакових n або найбільше значення n за умови однакових W . Якщо ж обидва значення (W і n) є змінними, знаходять такі заряди, у яких поєднання W і n дають відповідно табл. 7.2. найбільший радіус зони. Останню приймають як небезпечну зону для підривання такої серії зарядів.

Прийняті значення радіусів небезпечних зон для людей повинні бути не менші, ніж в табл. 7.2.

Для зарядів з істотно різними значеннями W і n у разі утворення протяжної виїмки (0,5 км і більше) радіус небезпечної зони для людей можна прийняти різним для різних її ділянок.

Радіуси зон, небезпечних за розкиданням кусків породи, під час вибухів зосереджених зарядів розпушування ($n < 1$) визначають таким чином. З усіх зарядів цієї серії вибирають заряд з найбільшою лінією найменшого опору – W_{\max} . Для цього заряду розраховують значення довжини умовної лінії найменшого опору ($W_{\text{нв}}$), при якій він був би зарядом нормального викидання ($n = 1$).

Оскільки значення $W_{\text{нв}}$ прийнято визначати із співвідношення:

$$W_{\text{нв}} = 5 W_{\text{розпуш}} / 7,$$

то для цього випадку

$$W_{\text{нв}} = 5 W_{\max} / 7.$$

Отримане значення W_{\max} є відправним для визначення радіусів небезпечних зон для людей за розкиданням окремих кусків. Шукані значення радіусів $r_{\text{роз}}$ знаходять у тих самих графах табл. 7.2, що відносяться до зарядів з $n = 1$ і показані на горизонтальному рядку, що відповідає розрахунковим значенням $W_{\text{нв}}$.

Безпечні відстані, що забезпечують збереження механізмів, будинків і споруд від пошкодження кусками породи, що розлітаються, необхідно встановлювати в проекті (паспорті) ведення підричних робіт, враховуючи конкретні умови.

7.7.2. Визначення безпечних відстаней за передачею детонації

Відстань $r_{\text{д}}$, що виключає можливість передавання детонації від вибуху на земній поверхні одного об'єкта з ВМ – активного заряду до іншого такого самого об'єкту – пасивного заряду, визначають за формулою:

$$r_{\text{д}} = K_{\text{д}} Q^{1/3} b^{1/4}, \text{ м}, \quad (7.10)$$

де $r_{\text{д}}$ – безпечна відстань від центра активного заряду до поверхні пасивного заряду, м; $K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що залежить від виду ВМ, зарядів і умов вибуху (відповідно до табл. 1 додатка 38 «Правил безпеки ...» НПАОП 0.00-1.66-13); Q – маса ВР активного заряду, кг; b – менший лінійний розмір пасивного заряду (ширина штабеля), м.

Під час визначення коефіцієнта K_d (табл. 1 додатка 38 «Правил безпеки ...» НПАОП 0.00-1.66-13), для розрахунку безпечних відстаней за передачею детонації, необхідно прирівнювати:

– обваловані сховища (об'єкти) до зарядів, що поглиблені на свою висоту в ґрунт;

– необваловані, розташовані на поверхні сховища та майданчики з ВМ – до відкритих зарядів.

Визначення безпечної відстані між двома об'єктами (сховищами) потрібно проводити за формулою (7.10), приймаючи по черзі кожен об'єкт за активний заряд. У цьому разі за безпечну відстань між об'єктами приймають більше значення з двох розрахованих, але не менше подвоєної ширини найбільшого (за шириною) заряду.

Під час розміщення ВМ, розташованих на одній осі у сховищах видовженої форми, безпечна відстань у всіх випадках повинна становити не менше подвоєної ширини більшого (за шириною) сховища.

За будь-якого розташування сховищ (майданчиків) безпечна відстань повинна бути не меншою за розрив, передбачений правилами протипожежного захисту.

Якщо під час проектування складу необхідно зблизити об'єкти (сховища) на відстань меншу, ніж визначено за формулою (7.10), то безпечні відстані для такого складу необхідно визначати, виходячи з сумарного запасу ВМ на складі.

Об'єкти підвищеної небезпеки (сховища ЗІ, стаціонарні пункти розтарювання та виготовлення ВР, бункери з ВР тощо), ємність яких є меншою за ємність основних сховищ, можна розташовувати тільки на таких відстанях від кожного зі сховищ ВМ, щоб їх вибух не викликав детонацію ВМ у сховищах. Цю відстань визначають за формулою (7.10), приймаючи за активний заряд ВМ, що перебувають на об'єктах підвищеної небезпеки.

Безпечні відстані за передачею детонації між сховищами ВР, розраховані за формулою (7.10) при $b = 1,6$ м, наведені в табл. 2 (додаток 39 «Правила безпеки ...» НПАОП 0.00-1.66-13).

Якщо пасивний заряд складається з різних ВМ (наприклад, амоніту і тротилу), то при розрахунку безпечних відстаней значення коефіцієнта K_d вибирають для того ВМ (із числа наявних у складі заряду), який має найбільшу чутливість до детонування.

При зберіганні детонувального шнура 1 його метр прирівнюють до такої кількості детонаторів n_d :

$$n_d = P_{дш} / m_d, \quad (7.11)$$

де $P_{дш}$ – погонна маса серцевини ДШ, г; m_d – маса ВР в детонаторі, г.

7.7.3. Визначення відстаней, безпечних за дією отруйних газів вибуху

При одночасному підриванні зарядів викиду загальною масою понад 200 т необхідно враховувати газову небезпеку вибуху і встановлювати безпечну відстань r_r , за межами якої вміст отруйних газів (у перерахунку на умовний оксид вуглецю) не може перевищувати граничнодопустиму концентрацію.

Безпечну відстань r_r за дією отруйних газів в умовах відсутності вітру або в напрямку, перпендикулярному поширенню вітру, під час підривання зарядів викидання визначають за формулою:

$$r_r = 160Q^{1/3}, \text{ м}, \quad (7.12)$$

де Q – сумарна маса зарядів вибуху, т.

У напрямку, протилежному поширенню вітру, радіус газонебезпечної зони необхідно приймати рівним R_r . У напрямку вітру радіус газонебезпечної зони R_r визначають за формулою:

$$R_r = 160Q^{1/3} (1 + 0,5V_B), \quad (7.13)$$

де V_B – швидкість вітру перед вибухом, м/с.

Питання для самоконтролю знань

1. Назвіть основні пункти, які повинен містити типовий проект ведення підривних робіт.
2. Які розділи містить паспорт БПР?
3. Які пункти містить проект спеціальних підривних робіт?
4. Які способи підривання дозволяється використовувати при обробці металів вибухом?

5. Де дозволяється готувати заряди ВР при обробці металів енергією вибуху?
6. Що повинен перевірити керівник підричних робіт (майстер) у бронях перед вибуховими роботами?
7. Яке освітлення дозволяється в бронях?
8. Які ВМ, ЗІ дозволяється використовувати при підричних роботах в бронях?
9. Подача сигналів при підричних роботах у бронях.
10. При підричних роботах в гарячих масивах які ЗІ дозволені «Правилами безпеки...» [1] і чому?
11. У діапазоні яких температур дозволяються підричні роботи в гарячих масивах?
12. Яку кількість зарядів дозволяється одночасно заряджати і підричати при температурі масиву 45 та 80°C?
13. Якою кількістю підричників проводяться роботи із заряджання шпурів у гарячому масиві та який час вони мають у своєму розпорядженні?
14. Які сигнали і коли подаються при вибуховому руйнуванні будівель і споруд?
15. Які заходи необхідно прийняти в разі розкриття пустот в масиві об'єкта при бурінні шпурів?
16. Які ВР і способи ініціювання забороняється застосовувати при дробленні матеріалів вибухом?

Список рекомендованої літератури

1. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13 : затв. М-вом енергетики та вугіл. пром-сті України 12.06.2013. – Луганськ : ЛЕТЦ, 2013. – 194 с.

ВИСНОВКИ

У даному посібнику розглянуто:

- основні питання теорії і практики вибуху;
- загальні поняття хімічного перетворення вибухових речовин;
- методи та способи визначення їх показників та характеристик;
- класифікацію промислових вибухових речовин за складом, за умовами застосування, за групами сумісності;
- перелік посадових обов'язків персоналу щодо забезпечення якісного і безпечного виконання підричних робіт;
- класифікацію способів та засобів підривання зарядів промислових вибухових речовин;
- електричні, неелектричні та комбіновані способи підривання зарядів;
- особливості вибуху суміші метану з повітрям та вибуху вугільного пилу;
- принципи побудови запобіжних вибухових речовин та перспективи їх розвитку;
- методи випробування запобіжних вибухових речовин;
- класифікацію зарядів вибухових речовин;
- основи теорії дії вибуху в різних середовищах;
- руйнування порід короткоуповільненим підриванням;
- підричні технології проведення виробок та видобутку вугілля;
- особливості підричних робіт при проведенні виробок по викидонебезпечних пластах;
- вимоги до поведження з ВМ під час підричних робіт у підземних умовах;
- основні вимоги до проектної документації та правила безпеки під час виконання підричних робіт у міських умовах.

Спираючись на матеріал посібника, студент повинен уміти:

- класифікувати вибухи та хімічні перетворення вибухових речовин;
- характеризувати параметри ударної хвилі в різних середовищах;
- визначати методи дослідження показників вибухової речовини;
- оцінювати якісні показники вибухової речовини;
- класифікувати вибухові матеріали за складом, за умовами застосування, за групами сумісності;

- аналізувати гірничо-геологічні й гірничотехнічні умови та на основі цього аналізу вибирати промислові вибухові речовини;
- оцінювати відповідальність персоналу при порушенні вимог нормативних документів про порядок зберігання, використання та облік вибухових матеріалів;
- класифікувати способи та засоби підривання зарядів промислових вибухових речовин;
- аналізувати гірничо-геологічні й гірничотехнічні умови та на основі цього аналізу вибирати способи та засоби підривання зарядів промислових вибухових речовин;
- вибирати заходи з техніки безпеки;
- описувати механізм протікання вибухової реакції суміші метану з повітрям та вибуху вугільного пилу;
- характеризувати принципи побудови запобіжних вибухових речовин;
- визначати методи випробування запобіжних вибухових речовин;
- класифікувати заряди вибухових речовин;
- класифікувати методи підривних робіт;
- описувати механізм руйнування різних середовищ вибухом;
- оцінювати ефективність використання короткоуповільненого підривання зарядів;
- вибирати та організовувати підривну технологію проведення виробок та видобутку вугілля залежно від гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов;
- вибирати та організовувати підривну технологію проведення виробок по викидонебезпечних пластах;
- розраховувати та складати паспорт буропідривних робіт;
- вибирати та організовувати роботи з ліквідації зарядів, що відмовили;
- вибирати заходи з техніки безпеки при підривних роботах;
- складати проектну документацію на виконання підривних робіт;
- вибирати та організовувати підривні роботи в міських умовах;
- вибирати заходи з техніки безпеки при підривних роботах у міських умовах.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

Адіабата Гюгоніо 20
Аматоли 95
Акванали 99
Акваніти 99
Акватоли 99
Активний заряд ВР 50
Амонали 96
Амоніт ПЖВ-20 119
Амоніт Т-19 119
Амоніт Г5 120
Амоніт П5 120
Амоніт нафтовий № 3ЖВ 118
Амоніт сірчаний № 1 118
Амоніти 95
Анемікс 108
Антигризутність 188
Австроліти 114

Б

Безпечний струм 150

В

Вибух 12
Вибух вугільного пилу 194
Вибухова речовина 11
Вибухові суміші 69
Вибухові хімічні сполуки 68
Вигоряння зарядів шпурів 24
Вимоги до запобіжних ВР 197
Вимоги до промислових ВР 69
Вогнепровідний шнур (ВШ) 162
Водомісткі ВР 98
Водостійкість ВР 90
Воронка викиду 209
Вугленіт №5 121
Вугленіт №6 121
Вугленіт №7 122
Вугленіт 10П 122
Вугленіт 12ЦБ 122
Вугленіт 13П 124
Вугленіт 13П/1 124
Вугленіт М 126

Вугленіт П52 124

Г

Гарантійний струм 151
Гетерогенна система 35
Гігроскопічність ВР 92
Гідродинамічна теорія детонації 27
Гідрофобна добавка 90
Горіння ВР 22
Горючі добавки 89
Граничний діаметр заряду ВР 36
Граничний заряд ВР 187
Грамонали 96
Гранеміти 106
Граніпори 115

Д

Детонація 24
Детонація в ідеальному режимі 36
Детонація в неідеальному режимі 36
Детонація за Чепменом-Жуге 31
Детонаційна хвиля 26
Детоніт № 10А 117
Детоніт М 117
Детонувальний шнур 181
Дефлаграція 22
Деформаційна модель запалювання 39
Діабазит 116
Динамони 96
Дослідний штрек 201

Е

ЕВР «ЕРА» 109
Ексудація 116
Енергіт 121
Енергія активації 25
Електрозапалювальний патрон 180
Емоніти 109
Емуліти 101
Емульсійні ВР 103
Емульхім ШМ-2 108

Ефект
– Манро 212
– перепресування ІВР 148
– трибоелектричний 194

З

Запальний патрон 164
Закон збереження
– маси 19
– імпульсу 19
– енергії 19
Зарубіжні ЕВР 112
Заряд ВР:
– камуфлета 209
– відколу 209
– розпушення 209
– викиду 209
Здатність ущільнюватися 92
Зниження подрібнюваності порід 234
Зони (під час вибуху):
– стиснення 228
– подрібнення 228
– розпушення 228
– струсу 229
– руйнування 229
– хімічної реакції 30, 33

І

Ігданіти 96
Імпульс запалення 149, 150
Ініціююча здатність ВР 70
Іфзаніти 101

К

Капсуль-детонатор 162, 163
Карбатоли 96
Кінематичні параметри детонації 31
Коефіцієнт прострелення 227
Конверсійні ВР 91
Конструкція зарядів ВР 207
Критична щільність ВР 129
Критичний діаметр заряду ВР 34
Кумулятивний струмінь
– тиск струменя 215

– довжина каналу 216
– швидкість струменя 214

Кумуляція 213
Кут розкриття воронки викиду 210, 211

Л

Ланцюги перетворення 191
Ланцюгова реакція 191
Леткість ВР 92

М

Методика Барона та Левчика 64
Методи підривних робіт:
– зовнішніх (накладних) зарядів 208
– камерних зарядів 208
– котлових зарядів 208
– свердловинних зарядів 208
– шпурових зарядів 208
Метод свинцевої бомби 61
Мінімальний ініціюючий заряд ВР 59
Модель гарячих точок 39
Мортира 201

Н

Найпростіші ВР 96
Нестійкість ВР за Вант-Гоффом 69
Недостиснена детонація 31
Нестаціонарна детонація 27
Нітрометан 115

О

Окиснювачі 89
Опір ЕД 150

П

Параметри Жуге 32
Пасивний заряд ВР 50
Патрон-бойовик 153
Перетиснена детонація 31
Період індукції 190
Перхлоратні ВР 114
Побідит ВП-4 118

Поверхня Чапмена-Жуге 29
Показник дії вибуху 211
Полум'я 24
Полум'ягасники 89
Пореміти 104
Поротол 116
Порошкові ВР 113
Проба
– Гесса 63
– Каста 64
– Трауця 61
Пряма Міхельсона 29, 31

Р

Радіус камуфлетної порожнини 226
Рівняння Гюгоніо 19
Рідкі ВР 115
Розміщення зарядів ВР 219

С

Селектит гранульований 121
Сенсибілізатори 89
Сипучість ВР 92
Сларрі 100
Способи збільшення імпульсу вибуху 231
Стабілізатори 90
Старіння ВР 92
Стаціонарне горіння 23
Стаціонарна теплота згорання 54
Стомілісекундний струм займання 150
Структуроутворювальні добавки 90
Структура фронту детонаційної хвилі 28

Т

Температура спалаху 23
Температура спалаху МПС 189, 190
Тепловий вибух 23
Теплота вибухового перетворення 53
Теплота вибуху 60
Теплота утворення речовини 53
Термічне розкладання 22

Технологія електричного підривання 151
Тривалий запалювальний струм 150
Тиск надлишковий:
– у воді 222
– у повітрі 219
Точка Жуге 29
Точка Чапмена-Жуге 29

У

Ударна адіабата 20
Ударна хвиля 14
Ударний стрибок 19
Україніт ПП-1 106

Ф

Флегматизатори 90
Форма зарядів ВР:
– зосереджені 207
– листкові 207
– подовжені 207
– фігурні 207
Формула Борескова 227
Фронт полум'я 24
Фронт ударної хвилі 18, 19
Фугасність 61

Х

Хвиля відбиття 230
Хімпік 28
Холодне займання 190

Ч

Час спрацьовування ЕД 151
Чутливість ВР 37
Чутливість первинних ВР до удару 76

Ш

Швидкість вибухового перетворення 25

Навчальне видання

Соболєв Валерій Вікторович
Терещук Роман Миколайович
Григор'єв Олексій Євгенович

ТЕХНОЛОГІЯ ТА БЕЗПЕКА ВИКОНАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ

Навчальний посібник

Редактор Ю.В. Рачковська

Підписано до друку 04.09.2017. Формат 30×42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 17,4.
Обл.-вид. арк. 17,4. Тираж 300 пр. Зам. № ____

Підготовлено до друку та видруковано
у Державному вищому навчальному закладі
«Національний гірничий університет».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
від 11.06.2004.

49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.