

Шевцов М.Р., Таранов П.Я., Левіт В.В., Гудзь О.Г. Руйнування гірських порід вибухом: Підручник для вузів.— 4-е видання перероб. і доп. — Донецьк: ,2003. — 248 с.

Викладені теорія підривання вибухових речовин, методи і приклади застосування теорії до задач практики; основні способи випробування вибухових речовин, у тому числі запобіжних. Наведені характеристики вибухових речовин і засобів підривання. Викладені теорія дії вибуху на породу і методи розрахунку основних параметрів буропідричних робіт при будівництві та експлуатації шахт та кар'єрів. Розглянуто спеціальні види підричних робіт, у тому числі контурне підривання, струсне підривання. Наведено характеристику систем забезпечення безпеки підричних робіт у шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу. Матеріал оновлено і доповнено з урахуванням змін в області руйнування гірських порід вибухом, що відбулися з часу 3-го видання.

Підручник призначений для студентів гірничих вузів і факультетів. Може бути корисний інженерно-технічним працівникам проектних гірничодобувних і шахтобудівних організацій, які займаються підричними роботами.

Гриф видано 31 січня 2002 року (протокол № 1/11–335) Міністерством освіти і науки України .

ПЕРЕДМОВА

При виконанні гірничих робіт буропідривний спосіб є основним способом руйнування порід при відділенні їх від масиву. Так, за допомогою буропідривних робіт добувається приблизно 70% обсягу корисних копалин, проводиться більше 90% виробок на гірничорудних підприємствах і майже 70% – на вугільних шахтах Донецького басейну. При проведенні виробок у міцних породах цей спосіб буде і надалі переважати.

Підривні роботи широко застосовуються не лише у гірничодобувній промисловості, але й в інших галузях народного господарства (під час будівництва гребель, електростанцій, тунелів, судноплавних і зрошувальних каналів, залізничних і шосейних доріг, при гасінні пожеж на нафтопромислах тощо).

У зв'язку з подальшим розвитком гірничодобувної промисловості технологія буропідривних робіт продовжує удосконалюватися у напрямі підвищення безпеки, ефективності, економічності, збільшення коефіцієнта використання потенційної енергії вибухових матеріалів (ВМ), а також розширення застосування підривних робіт.

За останні роки відбулися істотні зміни у рекомендованому асортименті вибухових речовин і засобів ініціювання зарядів. Створено нові типи вибухових врубів, а також методики ефективного застосування. Розроблено рекомендації щодо проведення гірничих виробок контурним підриванням, що забезпечує збереження природної міцності порід у позаконтурному масиві, нові способи і засоби безпечного виконання підривних робіт і т.д.

Четверте видання підручника підготовлено з урахуванням змін, що сталися в асортименті вибухових речовин, у техніці, технології та безпеці підривних робіт після виходу третього видання у 1976 р. Велика увага приділена питанням шахтного і підземного будівництва, безпеки підривних робіт у шахтах, небезпечних щодо газу чи тих, що розробляють пласти, небезпечні щодо вибухів пилу, а також послідовності викладу теорії і практики вибухової справи з урахуванням багаторічного досвіду викладання дисципліни “Руйнування гірських порід вибухом” викладачами кафедри “Будівництво шахт і підземних споруд” ДонНТУ. Із четвертого видання вилучено розділ “Бурові роботи”.

Підручник написаний з урахуванням вимог “Єдиних правил безпеки при підривних роботах”, що регламентують основні дії і прийоми поводження з ВМ, відомих інструкцій і посібників, а також діючих методик випробувань ВМ у МакНДІ і заводах-виготовлювачах у відповідності до робочої програми дисципліни “Руйнування гірських порід вибухом” для вузів.

Підручник має на меті сприяти підготовці висококваліфікованих фахівців вибухової справи. “Руйнування гірських порід вибухом” належить до важливих інженерних дисциплін, тому автори прагнули забезпечити найтісніший взаємозв'язок теоретичних питань із практикою.

Автори висловлюють подяку рецензентам за цінні зауваження, що дозволили внести у рукопис ряд корисних доповнень і уточнень, магістрам шахтного та підземного будівництва І.В. Купенко та А.А. Бородулі за участь у написанні глави 8 і здійснення комп'ютерної обробки матеріалів, а також доктору технічних наук М.О. Ільяшову за участь у написанні глави 12.

Автори будуть вдячні за зауваження і пропозиції, спрямовані на подальше поліпшення змісту підручника.

РОЗДІЛ І

Вибухові речовини і засоби їхнього ініціювання

Глава 1

Історичні відомості про розвиток вибухової справи

Сучасна вибухова техніка, як і техніка взагалі, увібрала в себе багатовіковий досвід, творчі пошуки, плоди напруженої праці і таланту народних умільців, винахідників, техніків, інженерів, учених, зусиллями яких постійно узагальнюється, удосконалюється і послідовно збагачується спадщина виробничого, технічного і наукового досвіду багатьох мільйонів людей.

1.1. Історія створення і застосування вибухових речовин

Першою вибуховою речовиною, яку винайшла людина, був чорний димний порох. Час відкриття й імена винахідників залишилися невідомими. У давні часи порох знали в Китаї й Індії, звідки його запозичили араби. За твердженням Бертело, чорний димний порох у Європі почали застосовувати в X ст. під час проведення свят, так званих "вечорів вогню". Як металевий засіб порох став відомий з XIII ст.

У XV ст. порох почали застосовувати в мінно-підривній справі для руйнування укріплень супротивника: при облозі Будапешта (Угорщина) в 1489 р. і Казані (Росія) в 1552 р.

Уперше в світі для господарських цілей порох було використано у 1548 р. при розчищенні фарватеру р. Німан.

Історія застосування ВР у гірничій справі почалася в Словаччині на руднику Банска-Штявниця під час проходження штольні в 1627 р., а до кінця XVII ст. підривні роботи в гірничій промисловості застосовувалися майже у всіх країнах Європи. Але оскільки ефективність підривних робіт була невелика, людина працювала над створенням більш потужних ВР.

У роки бурхливого розвитку хімії, наприкінці XVIII і на початку XIX ст., були отримані перші нові більш ефективні ВР: нітробензол у 1834 р., нітронафталін у 1836 р., піроксилін у 1846 р.

Історія відкриття вибухових речовин – героїчні сторінки у літописі хімії. Часто хімік, який одержав нове з'єднання, не підозрював про те, що воно може вибухати, і дорого (втратою пальців, зору, а іноді і життя) оплачував своє відкриття.

Великою подією у галузі утворення ВР було одержання А.Собреро шляхом обробки гліцерину азотною кислотою при наявності сірчаної кислоти азотнокислого ефіру гліцерину (нітрогліцерину) у 1846 р. у м. Туріні в Італії. Це було, власне кажучи, кінцем епохи пороху і початком ери потужних ВР. У чистому виді нітрогліцерин – це безбарвна масляниста рідина, отруйний, дуже чутливий до механічних впливів (удару, тертя) і до вогню. Температура спалаху 180°C, горіння його швидко переходить у вибух, чутливість до удару 4 см.

На той час нітрогліцерин робили невеликими партіями. Спроби виготовляти його у великих кількостях закінчувалися вибухами. Через велику чутливість до удару, тертя і внаслідок незручності роботи з рідкою ВР чистий нітрогліцерин мав обмежене застосування, а незабаром його перестали використовувати.

У 1853 р. академік М.М. Зінін і полковник артилерії В.Ф. Петрушевський розробили технологію виготовлення нітрогліцерину у великих кількостях. Для зручності застосування вони провели експерименти з просочення різних невибухових речовин нітрогліцерином і в цьому ж році запропонували кілька видів нових ВР, аналогічних за складом майбутнім динамітам (протягом 1860-1863 рр. дослідниками було виготовлено 160 пудів таких ВР).

У 1863 р. Альфред Нобель (Швеція) одержав, а у 1866 р. налагодив випуск пластичної ВР на основі нітрогліцерину з добавкою 25% мінералу – інфузорної землі (кізельгур), та назвав його *динамітом*, що в перекладі зі шведського “сильний”. Це був переворот у вибуховій справі.

У 1867 р. шведськими хіміками І. Ольсеном та І. Норбітом були отримані і запатентовані ВР на основі аміачної селітри, що одержали надалі назву амонітів. Однак А. Нобель купив цей патент і більш ніж на 20 років затримав упровадження цих ВР у промисловість.

У 1877 р. Мюллер запропонував вводити кристалогідрати до складу динаміту, назвавши нову ВР ватеркізельгурдинамітом. Це була перша запобіжна ВР.

У 1886 р. професор Петербурзького гірничого інституту М.М. Чельцов винайшов аміачно-селітреноу ВР “громобой”.

У 1885 р. як ВР почали використовувати пікринову кислоту, з 1887 р. – тетрил, з 1891 р. – тротил (отриманий професором Вільбрандтом у 1863 р.).

Гексоген і тен були синтезовані наприкінці XIX ст.

У 1892 р. Д. І. Менделєєв отримав бездимний порох і розробив безпечну технологію його виготовлення. Цей порох був прийнятий адміралом С.О. Макаровим для озброєння військово-морського флоту Росії.

У середині 50-х років XX ст. розроблені групи аміачно-селітрених ВР: потужних скельних амонітів з добавками гексогену, гранулітів і грамонітів на основі аміачної селітри, грубодисперсних ВР, які містять сполуки води і ллються при високій температурі. Роботи виконувались на підставі дослідів академіка М.В. Мельникова, професора Г.П. Демидюка та ін.

Від використання динамітів, що містять дуже чутливі і небезпечні у виробництві нітроефіри, у більшості країн перейшли до застосування амонітів і амоналів, які містять як пальне порівняно безпечні тротил, гексоген і алюміній, а також використовують ВР, компоненти яких до змішування не вибухають.

У другій половині XX ст. почалася епоха розробки високозапобіжних ВР. Основи їх створення базуються на роботах радянських вчених К.К. Андрєєва, О.І. Гольбіндера, Б.Д. Россі, О.П. Глазкової, Л.В. Дубнова, М.С. Бахаревиц, В.Ф. Старокожева, М.О. Анаскіна, В.Є. Александрова, Б.М. Кукіба. Великий внесок у розвиток запобіжних ВР внесли українські вчені О.І. Селезньов, Ф.М. Галаджий, М.Л. Росинський, В.І. Зенін, В.М. Расторгуєв, М.К. Песоцький, Б.І. Вайнштейн, С.О. Калякін.

У 60-х роках XX ст. завдяки зусиллям цих вчених був розроблений вугленіт Е-6, пізніше – високозапобіжні патрони ПВП-1У, СП-1, наприкінці 70-х – вугленіт 12ЦБ, на початку 90-х – вугленіти 13П, 13П/1 та 10П.

Запобіжні властивості вугленіту Е-6 та інших вибухових речовин V класу знаходяться на рівні класів: Р5 (Англія), II (Бельгія), V (Польща), I (Чехія), EgS-I (Японія) і мають проміжні значення між WI и WII (Німеччина), II и III (Франція). Аналоги вугленіту Е-6: в Англії – дайноджекс і пенобел; Бельгії – кемпоксит; Франції – GDC-20 і GDC-16; у Німеччині – веттер енергіт А, веттер робуріт А; Чехії – сентиміт-46, славіт-V та динаміт № 2; Польщі – метаніт DGG/DCY, барбаріти L, FYH2; у Японії – EgS-1.

1.2. Історія розвитку техніки підривання і засобів ініціювання ВР

Для підривання порохових зарядів спочатку застосовувалися порохові доріжки. Перші у світі лабораторні вибухи порошу електричним способом здійснив визначний російський вчений-фізик В.В. Петров у 1803 р.

У 1812 р. професор П.І. Шиллінг (Росія) створив і вперше застосував електричний запальник з вугільним запалом, що у 1839 р. замінив запальником з електричним містком розжарювання. Б.С. Якобі (Росія) довів електричний спосіб запалювання порохових зарядів до практичного використання. Він же в 1842 р. створив першу електричну підривну машинку.

У 1831 р. інженер Бікфорд запропонував вогнепровідний шнур, що поклав початок так званому вогневому способу ініціювання зарядів ВР.

М.М. Зінін і В.Ф. Петрушевський (Росія) встановили, що деякі сорти динамітів не вибухають від полум'я. Тому для підсилення впливу на ВР вони вперше застосували як ініціатор невеликий заряд чорного порошу, від якого вибухали всі сорти. Заряд-детонатор удосконалив капітан Андрієвський (Росія). У 1865 р. для повноти підривання ВР він застосував спеціальний запал, що являв собою паперову гільзу у вигляді зрізаного конуса з закріпленим у ній електрозапальником, споряджену порохом. На торці гільзи зроблена заглибина, заповнена залізними ошурками. Це був не тільки перший у світовій практиці електродетонатор, це був перший, хоча і неусвідомлений, випадок використання ефекту кумуляції.

У 1868 р. А. Нобель сконструював свій капсуль-детонатор у вигляді мідної гільзи з начинкою з гримучої ртуті (замість порошу), відкритої в 1799 р. хіміком Е. Говардом (у 1815 р. її застосували в збройових капсулях). У тому ж році А. Нобель одержав патент на "Запал Нобеля". Це був справжній переворот у гірській справі.

У 1879 р. французький учений Мессен запропонував як засіб ініціювання ВР детонувальний шнур.

Що стосується засобів електричного підривання, то треба відзначити, що були розроблені електродетонатори звичайної і підвищеної ініціюючої здатності, незапобіжні і запобіжні, за часом спрацьовування миттєвої, короткоуповільненої й уповільненої дії (К.О. Берлін, Г.І. Покровський, М.Л. Росинський та ін.).

У галузі руйнування гірських порід вибухом поряд з розширенням асортименту вибухових речовин і засобів ініціювання зарядів, поліпшення їх якості велися дослідження у напрямі удосконалення технології виробництва підривних робіт, що забезпечують повну безпеку і високі техніко-економічні показники (М.В. Мельников, М.О. Лаврентьев та ін.). У

розробку типових схем механізації підричних робіт великий внесок зробив чл-кор. Академії наук УРСР Є.І. Єфремов.

1.3. Історія розвитку теорії вибуху

Для формування правильного уявлення про сутність явища, званого вибухом, потрібні були значні успіхи у природничих науках. Наукова розробка теорії вибухової справи почалася у XVI-XVIII ст. Найдавнішим європейським твором, у якому описаний порох, є “Книга про знищення супротивника вогнем”, написана не пізніше 1250 р. Марком Греком.

Основи фізики вибуху вперше заклав Михайло Васильович Ломоносов у своїй праці “Дисертація про народження і природу селітри”, написаній в 1749 р. У цій роботі великий російський вчений показав, що вибухова сила порошу залежить від кількості теплоти, що виділяється, і, найголовніше, від швидкості реакції. Таким чином, він вперше установив поняття і значення основних параметрів, що характеризують вибухове перетворення. У 1751 р. М. В. Ломоносов зробив відкриття фундаментального характеру (дією азотної кислоти на “жирні матеріали” можуть бути отримані потужні ВР), що мало дуже важливі наукові і практичні наслідки. Перша праця з технології виготовлення ВР опублікована у 1799 р. О.О. Мусінім-Пушкіним. У 1920 р. випускається посібник з мирного застосування вибуху (авт. М. Сухаревський). У наступному 1922 р. виходить перший збірник “Взрывное дело”.

Багато нового в теорію вибухової справи вніс визначний теоретик і практик міннопідричної справи військовий інженер генерал-лейтенант Михайло Матвійович Боресков. Його знаменита формула із розрахунку заряду викиду (1871 р.) не втратила свого значення до нашого часу.

Останні розробки в області дії вибуху на середовище, що руйнується, і керування цим процесом належать академіку М.О. Садовському і доктору фіз. мат. наук В.М. Родіонову.

Гідродинамічна теорія детонації стосовно до газів розроблена у Росії в 1890 р. В.А. Міхельсоном. За кордоном її розробили наприкінці 90-х років минулого століття англійський фізик Д. Чепмен і французький фізик Жуге. Фундаментальний розвиток теорія отримала у працях Я. Б. Зельдовича, Ю. Б. Харитона, Л. Д. Ландау, К. П. Станюковича та ін.

У 1911 р. професор М.М. Протодьяконов опублікував першу науково обґрунтовану класифікацію гірських порід по міцності, що дотепер широко застосовується у

гірничій промисловості. Великий внесок в аналіз фізичних явищ, пов'язаних з дією вибуху на гірську породу, а також у створення методів розрахунку зарядів для різних умов зроблений О. Ф. Беляєвим, Б. М. Шехтером, К. К. Андрєєвим, Г.П.Демидюком, М. М. Докучаєвим та іншими вченими.

Більше 100 років тому була виявлена кумулятивна дія зарядів. Перші дослідження проведені у 1923-1926 р. М. Сухаревським, що встановив залежність бронебійної дії кумулятивних зарядів від форми виїмки та ряду інших факторів. Строга теорія кумуляції була розроблена в 1945 р. М.О. Лаврентьєвим і незалежно від нього американськими вченими Тейлором, Райхельбергом та ін.

Значні успіхи, досягнуті у керуванні дією вибуху, забезпечили можливість проведення величезних за масштабами земляних робіт зі створення захисної протиселевої греблі у жовтні 1966 р. під Алма-Атою (в ущелині Медео) у важкодоступній місцевості у винятково стислі строки. Загальна маса зарядів першої серії вибухів склала 5290 т, а другої – 3946 т. Спрямований вибух використовується для створення штучних островів, при будівництві гідротехнічних споруд, каналів, водойм, при розкритті пластів корисних копалин для розробки їх відкритим способом.

Групою вчених під керівництвом М.О. Лаврентьєва, запропонований спосіб масових вибухів на викид за допомогою системи подовжених зарядів, розташованих у підземних виробках із заповненням порожнеч водою.

Руйнування гірських порід за допомогою буропідричних робіт при відкритому і підземному видобутку корисних копалин є основним процесом. Ефективність руйнування порід при підриванні значною мірою визначає продуктивність наступних технологічних процесів – навантаження, транспортування та ін. У зв'язку з розширенням обсягів виробництва у вугільній промисловості удосконалюються техніка і технологія буропідричних робіт. Широко впроваджуються більш ефективні бурові верстати і машини, засоби механізації заряджання ВВ, безпечні ВР, способи керування дією вибуху.

Глава 2

Основні питання теорії і практики вибуху

Суттєвою ознакою вибуху є різке збільшення тиску, що викликає виникнення в оточуючому середовищі ударної хвилі.

2.1. Поняття про вибух і вибухову речовину

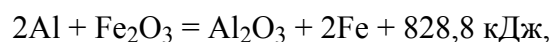
Вибухом у фізичному значенні називається надзвичайно швидка зміна речовини, що супроводжується таким же швидким звільненням її потенційної енергії, яка виконує механічну роботу, спрямовану на руйнування навколишнього середовища.

За своєю природою вибухи підрозділяються на фізичні, хімічні та ядерні.

При *фізичних* вибухах відбуваються тільки фізичні перетворення без зміни хімічного складу речовин (вибухи парових котлів, балонів зі зрідженим газом та ін.).

Хімічним вибухом називають у край швидке хімічне перетворення речовини (системи речовин), що самопоширюється, протікає з виділенням великої кількості теплоти й утворенням газоподібних продуктів. З цього визначення випливають чотири основні умови, які повинна задовольняти хімічна реакція для того, щоб вона могла протікати у формі вибуху, а саме: екзотермічність, утворення газів чи парів, велика швидкість, здатність до самопоширення.

Роль газоутворення для вибуху може бути показана на прикладі добре відомої термітної реакції



яка протікає без хімічного вибуху, незважаючи на те, що тепловий ефект реакції є достатнім для нагрівання кінцевих продуктів до температури 3273 К.

До хімічних вибухів належать вибухи вибухових речовин, метану чи іншого горючого газу, вугільного чи іншого органічного пилу.

При *ядерних* вибухах відбуваються ланцюгові реакції поділу ядер з утворенням нових елементів.

При вивченні дисципліни “Руйнування гірських порід вибухом” будемо розглядати тільки хімічний вибух вибухової речовини.

Вибуховою називається речовина (система речовин), здатна під впливом певного зовнішнього впливу до укр. швидкого хімічного перетворення з виділенням великої кількості теплоти й утворенням газів, здатних виконувати механічну роботу.

Для більшості вибухових речовин кількість газів, що виділяються під час вибуху 1 кг вибухової речовини (ВР), знаходиться в межах 0,3... 1 м³, кількість теплоти – 1,9... 6,3 МДж (460 ... 1500 ккал), а швидкість вибуху коливається від 1000 до 10000 м/с.

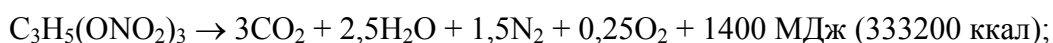
Під час вибуху в оточуючому середовищі виникають ударна і звукова хвилі.

2.2. Вибухові реакції. Кисневий баланс

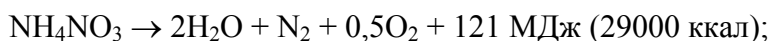
Характерна ознака вибухової речовини – наявність у складі хімічних елементів, необхідних для побудови кінцевої системи. Наприклад, при горінні нафти, вугілля та інших викопних реакція відбувається за рахунок кисню повітря. У той же час вибух ВР ґрунтується на окисненні киснем горючих речовин – вуглецю і водню, що входять до його складу, і лише вибух деяких ВР – на розпаді молекули на окремі атоми.

Розглянемо кілька прикладів реакцій хімічного перетворення ВР:

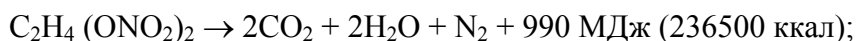
нітрогліцерин



аміачна селітра



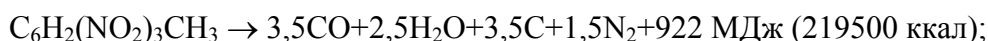
нітрогліколь



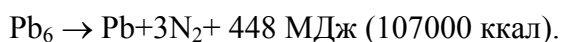
амоніт 63В, що складається із суміші аміачної селітри (79%) і тротилу (21%)



тротил



азид свинцю



Із розглянутих реакцій вибухового перетворення видно, що при створенні рецептури і застосуванні ВР важливо знати вміст кисню в його складі, тобто так званий кисневий баланс системи.

Кисневим балансом називається виражена у відсотках надлишкова, достатня чи недостатня кількість кисню у вибуховій речовині у порівнянні з кількістю, потрібною для повного окиснення горючих елементів, що містяться в ньому (вуглецю, водню, алюмінію та

ін.). Під повним окисненням варто розуміти окиснення водню у воду, вуглецю – у диоксид вуглецю (вуглекислий газ), алюмінію – у оксид алюмінію.

Залежно від надлишку чи недостачі кисню у ВР розрізняють нульовий, позитивний і негативний кисневий баланс. Нульовий – це такий кисневий баланс, при якому кількість кисню в складі ВР дорівнює кількості, потрібній для повного окиснення всіх горючих елементів, що входять до ВР. Якщо в складі ВР є надлишок кисню, то кисневий баланс вважається позитивним, а якщо недостача – негативним.

Кисневий баланс – це фізико-хімічна характеристика ВР. Його можна якісно оцінити за вибуховою реакцією, тобто за складом газоподібних продуктів вибуху, а саме: при нульовому – серед продуктів вибуху є тільки H_2O , CO_2 , N_2 (можливо і Al_2O_3), наприклад, у нітрогліколю; при позитивному – крім того, міститься вільний кисень, наприклад, в аміачній селітрі; при негативному – оксид вуглецю (чадний газ) і вуглець, наприклад, у тротилу.

Точне чисельне значення кисневого балансу ВР визначають за рівнянням

$$B_k = \frac{(N_k - N'_k)a}{M_{ВР}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де N_k – кількість атомів кисню в молекулі ВР;

N'_k – кількість атомів кисню, необхідна для повного окиснення горючих елементів (вуглецю, водню, алюмінію та ін.);

a – молярна маса кисню ($a = 16$ кг/кмоль);

$M_{ВР}$ – молярна маса ВР, кг/кмоль.

Якщо ВР має елементарний склад у вигляді $C_aH_bO_cN_dAl_e$, то $N_k = c$;

$$N'_k = 2a + 0,5b + 1,5e,$$

де a, b, c, d, e – кількість атомів відповідного хімічного елементу у молекулі ВР.

Очевидно, що якщо $N_k > N'_k$, то кисневий баланс позитивний, якщо $N_k < N'_k$ – негативний, а якщо $N_k = N'_k$ – нульовий.

Вибухові речовини з нульовим кисневим балансом ефективними, оскільки при повному окисненні горючих елементів виділяється максимальна кількість теплоти, що забезпечує максимальне виділення енергії під час вибуху.

Приклад 1. Визначити кисневий баланс нітрогліцерину і тротилу, хімічні формули яких відповідно $C_3H_5(ONO_2)_3$ і $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$.

Рішення. Молекула нітрогліцерину містить $N_k = 6 + 3 = 9$, а тротилу $N_k = 2 \cdot 3 = 6$ атомів кисню. Для повного окиснення горючих компонентів нітрогліцерину потрібно $N_k' = 2 \cdot 3 + 0,5 \cdot 5 = 8,5$, а тротилу – $N_k' = 2 \cdot 6 + 0,5 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 0,5 \cdot 3 = 16,5$ атомів кисню.

Молярна маса нітрогліцерину $M_{BP} = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 5 + 16 \cdot 9 + 14 \cdot 3 = 227$ кг/кмоль.

Кисневий баланс нітрогліцерину розраховуємо за формулою (2.1)

$$B_k = \frac{(9 - 8,5) \cdot 16}{227} \cdot 100\% = +3,52 \%$$

Отже, кисневий баланс нітрогліцерину позитивний.

Молярна маса тротилу: $M_{BP} = 12 \cdot 7 + 1 \cdot 5 + 14 \cdot 3 + 16 \cdot 6 = 227$ кг/кмоль.

Кисневий баланс тротилу

$$B_k = \frac{(6 - 16,5) \cdot 16}{227} \cdot 100\% = -74 \%$$

Отже, кисневий баланс тротилу негативний.

Приклад 2. Визначити кисневий баланс амоніту 63В, що складається з 0,925 кмоль тротилу і 9,88 кмоль аміачної селітри. Його елементарний склад – $C_{6,48} H_{44,13} O_{35,18} N_{22,52}$.

Рішення. Виходячи з елементарного складу, визначаємо

$$N_k = 35,18; N_k' = 2 \cdot 6,48 + 0,5 \cdot 44,13 = 35,025.$$

Молярная масса тротила $M_{BP} = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 5 + 16 \cdot 9 + 14 \cdot 3 = 227$ кг/кмоль.

Кисневий баланс розраховуємо за формулою (2.1)

$$B_k = \frac{(35,180 - 35,025) \cdot 16}{1083} \cdot 100\% = +0,23 \%$$

Отже, кисневий баланс амоніту 63В невеликий позитивний.

Селективно-детонувальні вибухові речовини V...VII класів у своєму складі містять не тільки класичні горючі елементи (C, H), але і цілу низку металів, фосфор, які в процесі вибухової реакції окиснюються киснем. При цьому спочатку хлор з'єднується з металами, потім окиснюються залишки усіх металів, після чого окиснюється водень до H_2O , і в кінці залишок кисню з'єднується з вуглецем до CO і CO_2 . Враховуючи це, параметр N_k' для таких ВР визначається значно складніше, ніж для ВР II...IV класів.

У загальному вигляді:

$$N_k' = 0,5 \sum_{i=1}^m n_i k_i b_i,$$

де 0,5 – величина, зворотня валентності кисня;

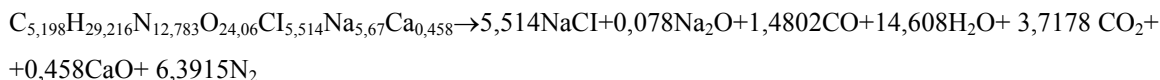
n_i – кількість атомів i -елемента у складі ВР;

k_i – валентність i -елемента;

b_i – безрозмірний коефіцієнт, який приймають +1 для хімічних елементів, що вступають у процес вибухового розкладу в реакцію з киснем; 0 – для хімічних елементів, які не вступають під час вибуху в реакцію з киснем, наприклад, для кисню, азоту та ін; –1 –

для хімічних елементів, які вступають в реакцію з елементами першої із перелічених груп, тобто для яких $b=1$, наприклад, для хлору.

Приклад 3. Визначити кисневий баланс для дослідного зразка У14П (V клас).



Рішення.

$$N_k = 24,06;$$

$$N'_k = 0,5 \cdot (5,198 \cdot 4 \cdot 1 + 29,216 \cdot 1 \cdot 1 + 12,783 \cdot 5 \cdot 0 + 24,06 \cdot 2 \cdot 0 + 5,514 \cdot 1 \cdot (-1) + 5,67 \cdot 1 \cdot 1 + 0,458 \cdot 2 \cdot 1) = 25,54;$$

$$a = 16 \text{ кг/кмоль};$$

$$M_{\text{BP}} = 684,9898 \text{ кг/кмоль};$$

$$B_k = \frac{(24,06 - 25,54) \cdot 16}{684,9898} \cdot 100\% = -3,457\%.$$

Кисневий баланс негативний.

2.3. Отруйні гази вибуху

Сучасні промислові ВР містять органічні і неорганічні нітрати, нітросполуки і різні нітровуглецеві сполуки, тому основними отруйними газами, що виділяються під час вибуху, є оксид вуглецю (чадний газ), оксид (NO) і діоксид (NO₂) азоту.

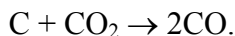
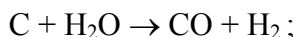
На склад і кількість отруйних газів вибуху у першу чергу впливає кисневий баланс: чим більше він відхиляється від нуля, тим менша потенційна енергія ВР у порівнянні з тим рівнем її, що був при нульовому B_k , і тим більше утворюється отруйних газів. При надлишку кисню виділяється деяка кількість оксидів азоту, а при недостатці кисню виділяється оксид вуглецю. Тому для підземних робіт допускаються ВР тільки з нульовим чи близьким до нульового кисневим балансом. Для підривання на земній поверхні можуть застосовуватися ВР як з позитивним, так і з негативним кисневим балансом.

Рецептури ВР складаються з таким розрахунком, щоб при реакції вибуху утворилися в основному пари води, азот і вуглекислий газ, тобто газоподібні продукти, найменш небезпечні для людини.

Вибухова речовина із нульовим кисневим балансом теоретично не повинні давати отруйних газів. Однак практика виконання підривних робіт патронованими ВР показала, що із загальної кількості газоподібних продуктів вибуху 5...10 % падає на отруйні домішки, у тому числі до 45 л/кг оксиду вуглецю і до 14 л/кг оксидів азоту.

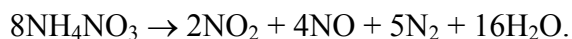
Головна причина утворення значної кількості оксиду вуглецю при підривних роботах – газифікація парафінованої паперової оболонки патронів ВР під дією

високотемпературних парів води і вуглекислого газу за такими реакціями (утворення О за рахунок дисоціації O_2 не має істотного значення для більшості промислових ВР):



Тому при виготовленні промислових ВР масу гільзи обмежують: на 100 г ВР маса паперової обгортки повинна бути не більше 3 г і парафіну - не більше 2,5 г.

Утворення оксидів азоту при підричних роботах відбувається, як правило, за рахунок повільного горіння (поза об'ємом заряду ВР) часток, що розкидаються при його детонації (у першу чергу аміачної селітри), яка протікає у низькотемпературному режимі при наявності порівняно низького тиску, наприклад, наступними шляхами:



У зв'язку з цим для підричних робіт у вугільних шахтах допускаються ВР, під час вибуху яких виділяється не більш 80 л/кг умовного оксиду вуглецю.

Перерахування оксидів азоту на умовний оксид вуглецю виконується множенням кількості оксидів азоту на коефіцієнт, що дорівнює 6,5. Вважається, що 1 dm^3 окисів азоту еквівалентний за токсичністю 6,5 dm^3 , а сірчистих газів – 2,5 dm^3 оксиду вуглецю.

2.4. Визначення енергетичних характеристик вибухових речовин і вибуху

Головні енергетичні характеристики ВР – об'єм газоподібних продуктів, теплота, температура і тиск вибуху. Перші три є найважливішими константами ВР, а тиск вибуху залежить не лише від складу ВР, але й від умов підривання.

2.4.1. Визначення об'єму газів, що виділяються під час вибуху ВР. Кількість газів, що виділяються під час вибуху ВР, визначають теоретичним шляхом за реакцією вибухового перетворення і дослідним.

Теоретично кількість газів обчислюють на підставі закону Авогадро, відповідно до якого газу, приведені до нормальних умов (температура 273 К і тиск 101325 Па) мають однаковий молярний об'єм, що дорівнює 22,4 m^3 /кмоль.

Об'єм газів, m^3 , вибуху 1 кмоль ВР

$$V_0 = 22,4 \Sigma n, \quad (2.2)$$

де Σn – сумарне число кіломолей газів вибуху, що утворюються під час вибуху 1 кмоль ВР.

У техніці користуються об'ємом газів, що виділяються під час вибуху 1 кг ВР, названим *питомим об'ємом* (V_0').

$$V_0' = \frac{V_0}{M_{\text{ВР}}}, \quad (2.3)$$

де $M_{\text{ВР}}$ – молярна маса ВР, кг/кмоль.

Для індивідуальних ВР молярну масу визначають з хімічних формул. Якщо ВР будуть являти собою механічну вибухову суміш декількох компонентів, тоді

$$M_{\text{ВР}} = M_{\text{ВР1}} N_1 + M_{\text{ВР2}} N_2 + \dots + M_{\text{ВРn}} N_n, \quad (2.4)$$

де $M_{\text{ВР1}}, M_{\text{ВР2}}, \dots, M_{\text{ВРn}}$ – молярна маса однойменних компонентів сумішевої ВР, кг/кмоль;

$N_1, N_2, \dots, N_n$ – число кмолів, однойменних компонентів у 1 кмолі суміші.

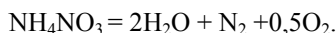
Якщо треба визначити питомий об'єм для інших температурних умов, користуються рівнянням

$$V_t' = V_0' \frac{T}{273}, \quad (2.5)$$

У термодинаміці константи ВР визначають при температурі 288 К. Тоді

$$V_{15}' = V_0' \frac{288}{273} = 1,055 V_0'.$$

Приклад 1. Визначити об'єм газів, що виділяються під час вибуху аміачної селітри в нормальних умовах. Реакція розкладу аміачної селітри:



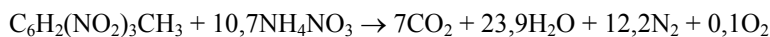
Рішення. Об'єм газів, м^3 , під час вибуху 1 кмоль ВР визначаємо за формулою (2.2):

$$V_0 = 22,4 \Sigma n = 22,4 \cdot 3,5 = 78,4,$$

а питомий об'єм, $\text{м}^3/\text{кг}$, газів вибуху визначаємо за формулою (2.3):

$$V_0' = V_0 / M_{\text{ВВ}} = 78,4 / 80 = 0,98.$$

Приклад 2. Визначити об'єм газів, що виділяються під час вибуху амоніту63В. Реакція вибухового розкладу



Рішення. Виходячи з цієї реакції,

$$\Sigma n = 7 + 23,9 + 12,2 + 0,1 = 43,2.$$

Об'єм газів, м^3 , що виділяються під час вибуху 1 кмоль ВР, визначаємо за формулою (2.2)

$$V_0 = 22,4 \cdot 43,2 = 967,68;$$

за формулою (2.4) знаходимо

$$M_{\text{ВР}} = 227 \cdot 1 + 80 \cdot 10,7 = 1083;$$

питомий об'єм газів, м^3 , що виділяються під час вибуху 1 кг ВР, обчислюємо за формулою (2.3)

$$V_0' = \frac{V_0}{M_{\text{ВР}}} = \frac{967,68}{1083} = 0,894.$$

Питомий об'єм газів, м³/кг, при температурі 15°C (T = 288 K) визначаємо за формулою (2.6)

$$V_{15}' = V_0' \cdot 1,055 = 0,894 \cdot 1,055 = 0,943 .$$

Об'єм газоподібних продуктів вибуху можна встановити й іншим шляхом – вимірюванням тиску газів у сталевій бомбі після вибуху в ній заряду ВР. Для цього після вибуху бомбу витримують протягом 60 хв для охолодження і вирівнювання температури її стінок з навколишньою температурою. Потім вимірюється тиск усередині неї. Об'єм газів, м³, приведений до нормальних умов (тиск 760 мм рт. ст. і температура 273 K), обчислюють за формулою

$$V_0 = \frac{VP \cdot 273}{101325T} ,$$

де V – об'єм бомби, м³;

P – тиск у бомбі після вибуху, Па;

T – температура газів у бомбі, К.

Потім встановлюють об'єм парів води, що сконденсувалися (бомбу продувають сухим повітрям, що потім проходить через судини з хлористим кальцієм і віддає останньому воду, винесену з бомби), і додають його до обчисленого значення V_0 , одержуючи при цьому об'єм ΣV_0 . На підставі отриманого результату обчислюють питомий об'єм, м³, газів вибуху 1 кг ВР при пароподібній воді

$$V_0' = \frac{\sum V_0}{Q} ,$$

де Q – маса висадженого заряду, кг.

Для збереження бомби щільність заряджання, тобто відношення маси заряду до об'єму бомби (чи судини, у якому вибухає заряд) приймають не більше 0,02 кг/дм³.

2.4.2. Визначення теплоти вибуху. Теплота вибуху може бути визначена як теоретичним, так і дослідним шляхом. Ще у середині XIX ст. російський академік Г.І.Гесс, ґрунтуючись на першому законі термодинаміки, запропонував метод розрахунку теплового ефекту хімічної реакції, відповідно до якого сумарний тепловий ефект деякої послідовності реакції не залежить від шляху перетворення вихідних речовин у кінцеві продукти, а залежить лише від початкового і кінцевого стану системи. Стосовно реакції вибуху цей закон Г. І. Гесса можна сформулювати так: кількість теплоти, що виділяється під час вибуху, дорівнює сумарній молярній теплоті утворення продуктів вибуху за винятком молярної теплоти утворення самої ВР:

$$Q_T = Q_{ПВ} - Q_{ВР}, \quad (2.7)$$

де Q_T – молярна теплота вибуху ВР, що виділяється після розширення продуктів вибуху до нормального тиску (101325 Па) і температури 288 К, кДж/кмоль;

$Q_{ПВ}$ – молярна теплота утворення продуктів вибуху ВР, кДж/кмоль;

$Q_{ВР}$ – молярна теплота утворення ВР, кДж/кмоль.

Очевидно,

$$Q_{ПВ} = q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots + q_n n_n, \quad (2.8)$$

де $q_1, q_2, \dots, q_n$ – теплота утворення однойменних продуктів вибуху (при $T=288$ К і $P_0=101325$ Па), кДж/кмоль;

$n_1, n_2, \dots, n_n$ – кількість кіломолей однойменних продуктів вибуху 1 кмоль ВР.

Для вибухових механічних сумішей

$$Q_{ВР} = Q_{ВР1} \cdot N_1 + Q_{ВР2} \cdot N_2 + \dots + Q_{ВРn} \cdot N_n, \quad (2.9)$$

де $Q_{ВВ1}, Q_{ВВ2}, \dots, Q_{ВВn}$ – питома теплота утворення однойменних компонентів суміші, кДж/кг.

Питома теплота вибуху 1 кг ВР визначається за формулою

$$Q'_T = \frac{Q_T}{M_{ВР}}. \quad (2.10)$$

Молярна теплота утворення деяких ВР і продуктів вибуху при нормальному тиску і температурі 15°C наведена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Молярна теплота утворення деяких речовин

Речовина	Хімічна формула	Молярна теплота утворення при температурі 15°C (288 К) і тиску 760 мм рт. ст. (101325Па), кДж/кмоль
Аміачна селітра	NH_4NO_3	+ 371000
Дінітронафталін	$\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO}_2)_2$	– 23630
Нітрогліцерин	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$	+ 395000
Нітрогліколь	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2$	+ 283000
Тен	$\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$	+ 516000
Тротил	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$	+ 69300
Тетріл	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{N}(\text{NO}_2)\text{CH}_3$	– 19678
Гексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_3(\text{NO}_2)_3$	– 65482
Піроксилін	$\text{C}_{24}\text{H}_{29}\text{O}_9(\text{ONO}_2)_{11}$	+ 2610000
Колодіонна бавовна	$\text{C}_{24}\text{H}_{31}\text{O}_{11}(\text{ONO}_2)_9$	+ 2950000
Гримуча ртуть	$\text{Hg}(\text{CNO})_2$	– 258500
Вода (пара)	H_2O	+ 241500
Вода (рідина)	H_2O	+ 286000
Вуглекислий газ	CO_2	+ 395000
Оксид вуглецю	CO	+ 109800
Оксид азоту	NO	– 111200
Закис азоту	N_2O	– 86400
Метан	CH_4	+ 78000
Целюлоза	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$	+ 839000
Оксид алюмінію	Al_2O_3	+ 1870000

П р и м і т к а. Знаком “+” позначена молярна теплота, яка втрачається на утворення речовини; знаком “-” – молярна теплота, яка виділяється під час утворення речовини.

У розрахунках параметрів вибуху використовують теплоту, що виділяється під час вибуху ВР у постійному об’ємі (без здійснення зовнішньої роботи). Її називають *загальною енергією хімічного перетворення ВР*, чи потенційною енергією вибуху Q_V .

Теплота вибуху при постійному об’ємі більша за Q_T , обчисленої за формулою (2.7), від кількості теплоти ΔQ_T , що витрачається на розширення газів, тобто

$$Q_V = Q_T + \Delta Q_T, \quad (2.11)$$

де ΔQ_T – кількість теплоти, що витрачається на роботу розширення газів вибуху, кДж/кмоль.

При температурі, що дорівнює 288 К,

$$\Delta Q_T = \Sigma nRT = 8,32 \cdot 288 \Sigma n = 2396 \Sigma n.$$

Отже, молярна теплота вибуху 1 кмоль ВР при постійному об’ємі (тобто в момент вибуху – до розширення газів вибуху) дорівнює

$$Q_V = Q_T + 2396 \Sigma n, \quad (2.12)$$

Для 1 кг ВР теплота вибуху при постійному об’ємі

$$Q'_V = Q_V / M_{ВВ}, \quad (2.13)$$

Приклад. Визначити кількість теплоти, що виділяється під час вибуху амоніту 63В (вихідні ВР наведені у 2.4.1, приклад 2).

Рішення. За формулою (2.8) теплота утворення продуктів вибуху

$$Q_{ПВ} = 395000 \cdot 7 + 241500 \cdot 23,9 = 8536850 \text{ кДж/кмоль.}$$

За формулою (2.9) обчислюємо молярну теплоту утворення 1 кмоль ВР. Для тротилу $Q_{ВР1} = 69300$ кДж/кмоль, аміачної селітри $Q_{ВР2} = 371000$ кДж/кмоль (табл. 2.1).

Тоді $Q_{ВР} = 69300 \cdot 1 + 371000 \cdot 10,7 = 69300 + 3969700 = 4039000$ кДж/кмоль.

Знаходимо: за формулою (2.7) молярну теплоту вибуху 1 кмоль ВР

$$Q_T = 8536850 - 4039000 = 4497850 \text{ кДж/кмоль;}$$

за (2.10) – теплоту вибуху 1 кг амоніту 63В $Q'_T = 4153,1$ кДж/кг;

за (2.12) – теплоту вибуху 1 кмоль амоніту 63В при постійному об’ємі

$$Q_V = 4497850 + 43,2 \cdot 8,32 \cdot 288 = 4497850 + 103514,1 = 4601364 \text{ кДж/кмоль;}$$

за формулою (2.4) – молярну масу амоніту 63В

$$M_{ВР} = 227 \cdot 1 + 80 \cdot 10,7 = 1083 \text{ кг/кмоль;}$$

за (2.13) питому теплоту вибуху 1 кг амоніту 63В при постійному об’ємі

$$Q'_T = \frac{4601364}{1083} = 4248,7 \text{ кДж/кг.}$$

Дослідним шляхом теплоту вибуху визначають підриванням чи спалюванням ВР у калориметричній бомбі, яку вміщують у водяний калориметр.

2.4.3. Визначення температури вибуху. Максимальну температуру, до якої можуть нагріватися під час вибуху продукти вибухового перетворення ВР, називають *температурою вибуху*. Для аналітичного розрахунку передбачається, що вибуховий розклад відбувається при постійному об'ємі і теплота, що виділяється, цілком витрачається на нагрівання продуктів вибуху. Тоді температура вибуху може бути обчислена за формулою

$$t = \frac{Q_V}{\sum nC_V}, \quad (2.14)$$

де C_V – молярна теплоємність газів вибуху, кДж/(кмоль·°С).

Молярна теплоємність C_V для газів на момент вибуху, тобто до їхнього розширення, береться при постійному об'ємі. Для реальних газів C_V – величина змінна, яка залежить від температури, і різна для різних газів. Малляр і Ле-Шательє запропонували для її визначення рівняння

$$C_V = a + bt,$$

де a – молярна теплоємність продуктів вибуху при 0°С (273 К);

b – збільшення молярної теплоємності при підвищенні температури на 1°С.

Після підстановки значення C_V у формулу (2.14), одержимо

$$t = \frac{Q_V}{\sum n(a + bt)}$$

чи

$$\sum nb t^2 + \sum na t - Q_V = 0.$$

Звідки

$$t = \frac{-\sum na + \sqrt{(\sum na)^2 + 4\sum nb Q_V}}{2\sum nb}. \quad (2.15)$$

Продукти вибуху складаються з твердих компонентів і газів, теплоємність яких різна. Тому величина $\sum na$ означає сумарну молярну теплоємність усіх продуктів вибуху при температурі 0°С, тобто $\sum na = n_1 a_1 + n_2 a_2 + \dots + n_n a_n$. Так само величина $\sum nb$ означає сумарне збільшення молярної теплоємності продуктів вибуху при підвищенні їхньої температури на 1°, тобто $\sum nb = n_1 b_1 + n_2 b_2 + \dots + n_n b_n$.

У табл. 2.2 наведені значення параметрів a і b деяких хімічних елементів і сполук.

Визначити температуру вибуху експериментальним шляхом дуже складно через короткочасність процесу і великого тиску вибуху. З експериментальних методів найточнішим є оптичний колірний метод виміру температури вибуху, що ґрунтується на визначенні енергії за суцільним безперервним спектром, характерним для детонації, чи на

визначенні відношення величин яскравості при двох довжинах хвиль – метод “червоно-синього порівняння”.

Таблиця 2.2. Значення параметрів a і b деяких хімічних елементів і сполук

Компоненти продуктів вибуху	a , кДж/(кмоль·°C)	b , кДж/(кмоль·°C)
CO	23,80	0,001307
CO ₂	41,52	0,003262
H ₂ O	29,85	0,00522
N ₂	23,45	0,001352
O ₂	24,07	0,002209
H ₂	20,478	0,002446
C	3,23	0,00668
HCl	23,02	0,00167
NO	24,70	0,001213
Na ₂ O	52,4	0,0317
NaCl	34,88	0,02188
NaF	33,32	0,02047
Al ₂ O ₃	94,73	0,016814
CaCl ₂	63,70	0,0043995
KCl	37,47	0,0074163
CaO	40,57	0,0042252
K ₃ PO ₄	184,85	0,003174

П р и м і т к а. Для розрахунків можна приймати наступні наближені значення: двоатомні (N₂, O₂ та ін.) – $a = 20$ кДж/(кмоль·°C), а для трьохатомних (H₂O, CO₂ та ін.) – 26 і 0,0105 кДж/(кмоль·°C).

Приклад. Визначити температуру, що розвивається під час вибуху амоніту 63В (вихідні дані ВР наведені у 2.4.1, приклад 2).

Рішення. Температуру, що розвивається під час вибуху амоніту 63В, визначимо за формулою (2.15), а значення вхідних параметрів візьмемо із табл. 2.2.

В и з н а ч е н н я п р и б л и з н о г о з н а ч е н н я. Підрахуємо значення молярної теплоємності газів вибуху при 0°C і приріст молярної теплоємності при підвищенні температури на 1°:

$$\Sigma na = a_1 n_1 + a_2 n_2 + \dots = 26(7+23,9) + 20(12,2+0,1) = 803,4 + 246 = 1049,4 \text{ кДж/ (кмоль}^\circ\text{C)};$$

$$\Sigma nb = b_1 n_1 + b_2 n_2 + \dots = 0,01(7 + 23,9) + 0,004(12,2 + 0,1) = 0,31 + 0,049 = 0,359 \text{ кДж/ (кмоль}^\circ\text{C)};$$

Підставимо значення параметрів у формулу (2.15) і одержимо

$$t = \frac{-1049,4 + \sqrt{(1049,4)^2 + 4 \cdot 4601239 \cdot 0,359}}{2 \cdot 0,359} = 2405,35^\circ\text{C}.$$

Температура вибуху амоніту 63В за Кельвіном

$$T = 2405,35 + 273 = 2678,35 \text{ К.}$$

Визначення точного значення.

$$\sum na = 4 \cdot 41,52 + 23,9 \cdot 29,85 + 12,2 \cdot 23,45 + 0,1 \cdot 24,07 = 1591,56;$$

$$\sum nb = 7 \cdot 0,003262 + 23,9 \cdot 0,00522 + 12,2 \cdot 0,001352 + 0,1 \cdot 0,002209 = 0,2001;$$

$$t = \frac{-1591,56 + \sqrt{1591,56^2 + 4 \cdot 4601239 \cdot 0,2001}}{2 \cdot 0,2001} = 2252,9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T = 2252,9 + 273 = 2525,9 \text{ К.}$$

2.4.4. Визначення тиску вибуху. У випадку дуже високого тиску, що у момент вибуху виникає в зарядній камері (шпурі, скважині), густина газів вибуху близька до густини рідини. Тому при визначенні тиску газів вибуху не можна зневажати об'єм молекул цих газів. Крім того, під час вибуху ВР, що містять тверді добавки, чи у випадку, коли тверді компоненти утворюються в процесі хімічного перетворення, необхідно враховувати також об'єм твердого залишку.

Звичайно тиск газів вибуху розраховують за спрощеним рівнянням Ван-дер-Ваальса. Формула стосовно вибуху 1 кг ВР

$$P = \frac{P_0 V_0' T}{[V - (\alpha + \beta)] \cdot 273}, \quad (2.16)$$

де P_0 – нормальний атмосферний тиск при температурі 0°C , приблизно дорівнює $1,01 \cdot 10^5$ Па;

V_0' – об'єм газів вибуху 1 кг ВР за нормальних умов (при 0°C і тиску $1,01 \cdot 10^5$ Па);

T – температура вибуху ВР, К;

V – об'єм зарядної камери, м^3 ;

α – коволюм газів вибуху, тобто нестисливий об'єм молекул газів вибуху, м^3 ;

β – об'єм твердих компонентів продуктів вибуху 1 кг ВР (твердий залишок), м^3 .

Величина α визначається розмірами молекул газу і виражає собою непружний (нестисливий) об'єм, зайнятий молекулами. Чисельне значення α досить точно не встановлено. Для практичних розрахунків рекомендуються: при густині ВР понад 1 кг/дм^3 $\alpha = 0,0006 V_0'$; до 1 кг/дм^3 – $\alpha = 0,001 V_0'$.

Параметр β визначається за формулою

$$\beta = \frac{n_{T1} \cdot m_1 \cdot 10^{-3}}{\rho_{S1}} + \frac{n_{T2} \cdot m_2 \cdot 10^{-3}}{\rho_{S2}} + \dots + \frac{n_{Tn} \cdot m_n \cdot 10^{-3}}{\rho_{Sn}}, \text{м}^3, \quad (2.17)$$

де $n_1, n_2, \dots, n_{Tn}$ – число молів твердих компонентів у продуктах вибуху;

$m_1, m_2, \dots, m_n$ – маса твердих компонентів продукту вибуху, кг;

$\rho_{S1}, \rho_{S2}, \dots, \rho_{Sn}$ – фізична щільність твердих компонентів, кг/м^3 .

Теплота утворення деяких твердих продуктів вибуху при нормальному тиску і температурі 288 К, а також їхня густина наведені в табл. 2.3.

Для спрощення розрахунків доцільно об'єм зарядної камери замінити у формулі (2.17) щільністю заряджання:

$$\Delta_{\text{зар}} = m_{\text{ВР}} / V ,$$

де $m_{\text{ВР}}$ – маса заряду ВР, кг.

Під час вибуху 1 кг ВР, тобто для умов розрахунку тиску

$$V = 1 / \Delta_{\text{зар}} ,$$

Таблиця 2.3. Фізико-хімічні величини продуктів вибуху(твердих компонентів)

Компоненти продуктів вибуху	Густина, ρ_s , кг/м ³	Молярна теплота утворення, q , кДж/кмоль
CaO	3370	635100
KCl	1980	436700
NaCl	2165	411100
Na ₂ O	2390	418000
P ₂ O ₅	2390	1507000
Al ₂ O ₃	3900	1670200
Na ₃ PO ₄	2536	1924600
CaCl ₂	2150	797440

Підставивши значення V у рівняння Ван-дер-Ваальса (2.16) і зробивши перетворення, одержимо

$$P = \frac{P_0 V_0' \Delta_{\text{зар}}}{[1 - (b + v) \Delta_{\text{зар}}]} \cdot \frac{T}{273} , \quad (2.18)$$

Як випливає з формули (2.18), тиск газів вибуху ВР, що не містять у продуктах вибуху твердих речовин ($\beta=0$), наприклад, амоніту 63В, визначиться за формулою

$$P = \frac{P_0 V_0' T \Delta_{\text{зар}}}{(1 - b \Delta_{\text{зар}}) 273} ,$$

Щільність заряджання

$$\Delta_{\text{зар}} = \left(\frac{d_n}{d_{\text{ш}}} \right)^2 \Delta_{\text{ВР}} , \quad (2.19)$$

де d_n – діаметр патронів (заряду) ВР, мм;

$d_{\text{ш}}$ – діаметр зарядної камери (шпуру), мм;

$\Delta_{\text{ВР}}$ – щільність патрунування ВР, кг/м³.

Приклад 1. Визначити тиск продуктів вибуху амоніту 63В у зарядній камері. Діаметр патронів – 32 мм, діаметр шпуру – 43 мм. Щільність патронування ВР дорівнює 1100 кг/м³. Інші дані наведені в підрозділах 2.4.1–2.4.3.

Рішення. Для зазначеного діаметра шпуру підрахуємо щільності заряджання за формулою (2.19)

$$\Delta_{\text{зар}} = \frac{0,032^2}{0,043^2} \cdot 1100 = 609 \text{ кг/м}^3.$$

Визначимо тиск газів вибуху за формулою (2.18)

$$P = \frac{1,1 \cdot 10^5 \cdot 0,894 \cdot 2678,35 \cdot 609}{(1 - 8,94 \cdot 10^{-4} \cdot 609) \cdot 273} = 1198 \text{ МПа}.$$

Приклад 2. Визначити тиск продуктів вибуху амоніту Т-19 у зарядній камері. Діаметр патронів ВР – 36 мм, діаметр шпуру – 43 мм, щільність ВР – 1050 кг/м³, теплота вибуху – 3352·10³ Дж/кг, температура вибуху – 2503 К, питомий об'єм газів вибуху – 0,724 м³/кг. Реакція вибухового перетворення має вигляд



Рішення. За формулою (2.19) визначаємо:

$$\Delta_{\text{зар}} = \frac{36^2}{43^2} \cdot 1050 = 736 \text{ кг/м}^3.$$

За формулою (2.17) з урахуванням даних табл. 2.3 розраховуємо:

$$v = \frac{3,149(22,98977 + 35,453) \cdot 10^{-3}}{2165} = 9,23 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3;$$

$$\alpha = 0,001 V_0' = 72,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Підставивши значення вхідних параметрів у формулу (2.18), одержимо

$$P = \frac{101325 \cdot 0,724 \cdot 2503 \cdot 736}{[1 - (72,4 - 9,23) \cdot 10^{-5} \cdot 736] \cdot 273} = 1237574078 \text{ Па} = 1237,6 \text{ МПа}.$$

2.5. Детонація ВР.

Усі ВР являють собою хімічно малостійкі системи, котрі під впливом деякого зовнішнього імпульсу прагнуть до переходу в більш стійкі. За швидкістю і характером поширення розрізняють три форми хімічного перетворення ВР: термічний розпад (хімічне розкладання); вибухове горіння; детонація.

Термічний розпад – це порівняно повільна хімічна реакція, що відбувається у всьому об'ємі ВР, швидкість якої визначається температурою навколишнього середовища.

Як недостатньо стійкі системи ВР схильні до термічного розпаду. Однак при нормальній температурі зберегання (не більш 30°C) швидкість термічного розпаду для промислових ВР мізерно мала і теплота, що виділяється в процесі реакції, віддається

навколишньому середовищу. Наприклад, у лабораторії динамітної фабрики в Авільяно біля м. Туріна (Італія) з лютого 1847 р. зберігається без ознак розкладання майже 300 г чистого нітрогліцерину, уперше виготовленого італійським ученим Собреро. Якщо не дотримуватися правил зберігання за тепловим режимом, то хімічне розкладання може зрештою перейти у вибухове горіння, тобто відбудеться самозаймання ВР.

Вибухове горіння ВР – це самопоширюване хімічне перетворення, зумовлене тим, що енергія реагуючих пластів ВР передається наступним пластам шляхом теплопередачі, яка протікає з деякою непостійною дозвуковою швидкістю, від десятків до сотень метрів у секунду, що залежить від тиску навколишнього середовища.

За певних умов, що сприяють швидкому підйому тиску, наприклад, під час вибуху ВР у замкненому міцному об'ємі чи при горінні на відкритому повітрі великих кількостей ВР, вибухове горіння ВР може перейти в детонацію.

Детонація – це самопоширюване хімічне перетворення, зумовлене проходженням ударної хвилі по ВР і протікає для даного ВР, при певному його стані і за певних умов з постійною надзвуковою швидкістю майже декілька тисяч метрів у секунду. Детонація є природною формою хімічного перетворення промислових ВР. Всі інші форми є паразитними і тому на практиці з ними ведуть боротьбу і розробляють способи їхнього недопущення. Тому терміни “вибух” і “детонація” вживають стосовно до ВР як синоніми.

2.5.1. Основи теорії детонації. Для пояснення явища детонації були висунуті різні теорії і гіпотези. Із сучасних найбільше визнання отримала гідродинамічна теорія, відповідно до якої детонація збуджується і поширюється ударною хвилею, що проходить по вибуховій речовині.

Ударною хвилею називається стрибкоподібна зміна тиску, що поширюється в середовищі з надзвуковою швидкістю. Ця хвиля має наступні відмінні властивості:

- швидкість ударної хвилі дуже висока – надзвукова;
- при проходженні ударної хвилі у газоподібному середовищі спостерігається рух потоку газів услід за ударною хвилею;
- в ударній хвилі має місце дуже великий тиск, наростання якого (ΔP) відбувається миттєво, стрибкоподібно (рис. 2.1).

Як наслідок цих особливостей по фронту ударної хвилі (у зоні миттєвого стиску, ширина якої мала) спостерігається дуже висока температура і підвищена густина середовища. Вони зростають також миттєво, стрибкоподібно. За фронтом ударної хвилі тиск, температура і густина середовища швидко зменшуються. Стиснення призводить до руйнування молекул ВР. Звільнившись від первісних зв'язків, нагріті до високої температури

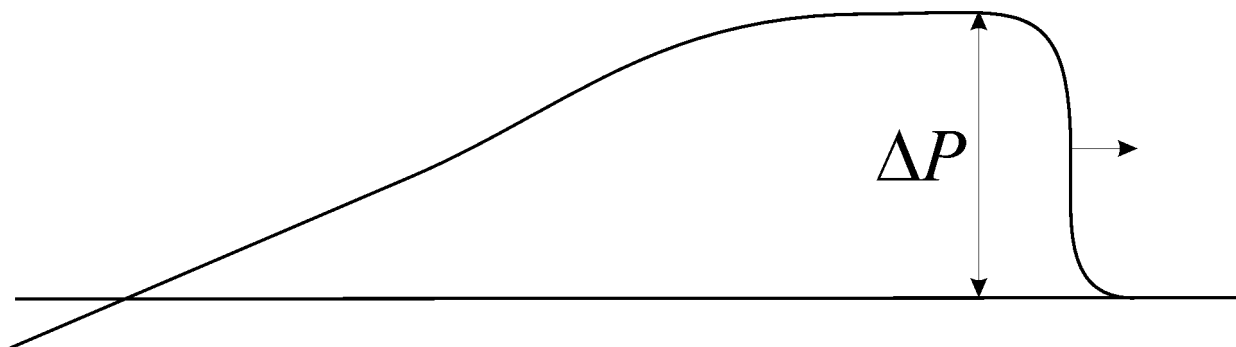


Рис. 2.1. Геометрична форма ударної хвилі

горючі елементи і кисень вступають у зоні за фронтом ударної хвилі в бурхливу хімічну реакцію з виділенням теплоти і перетворенням ВР у газоподібний стан (рис. 2.2).

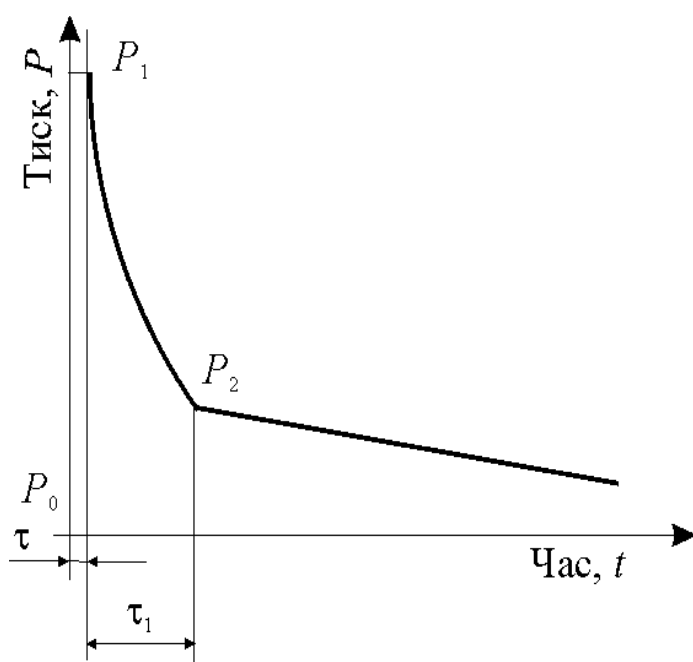


Рис. 2.2. Графік детонаційної хвилі
(хвиля рухається вліво)

Відносно вузька зона, у якій відбувається інтенсивна хімічна реакція, називається *зоною хімічної реакції*, чи фронтом хімічного перетворення. Перед фронтом знаходиться вихідна ВР, за ним – продукти детонації.

Поширювана по ВР ударна хвиля (зона стиснення) і прилегла до неї зона хімічної реакції узагальнюються поняттям *детонаційної хвилі*. Передній фронт детонаційної хвилі прийнято називати *фронтом детонаційної хвилі* (детонаційним фронтом, фронтом детонації).

Зона хімічної реакції закінчується умовною межею, названою площиною Чепмена–Жуге. Коли ударна хвиля вийде за межі патрона ВР чи увійде в середовище ВР зниженої якості, тоді енергія її, не підтримувана більш теплотою вибухових реакцій, швидко згасає. Амплітуда і крутість фронту хвилі швидко зменшуються й ударна хвиля переходить у звукову. Газоподібні продукти вибуху, що утворилися в глибині фронту детонаційної хвилі (у зоні реакцій), не залишаються на місці, а рухаються слідом за нею зі швидкістю у 4...10 разів меншою за швидкість детонації. За детонаційною хвилею тиск і щільність продуктів вибуху швидко зменшуються внаслідок розсіювання останніх.

У детонаційній хвилі розрізняють зони: ударну, вибухових реакцій і газоподібних продуктів вибуху. В ударній зоні детонаційної хвилі тиск P_1 удвічі вищий, ніж тиск P_2 у зоні

сталої детонаційної хвилі (на задньому краї фронту детонаційної хвилі). Тиск P_2 удвічі вищий за стаціонарний тиск миттєвого вибуху. Ударна зона дуже вузька – до 1 мкм. Глибина зони реакцій значно більше (0,5 мкм для азиду свинцю, 10 мкм для тетрилу і тротилу і ще більше для сумішевих ВР). Чим більша глибина зони реакцій, тим менш сприйнятлива ВР до детонаційного імпульсу. Тривалість вибухових реакцій τ складає $3 \cdot 10^{-3} \dots 6 \cdot 10^{-3}$ мкс для азиду свинцю і 0,2... 2 мкс для тротилу.

Оскільки ВР перетворюються на продукти вибуху не миттєво, у стиснених продуктах завжди є частинки ВР, які ще не прореагували, що, догоряючи протягом якогось часу, живлять своєю енергією ударну хвилю. У той же час високий тиск у детонаційній хвилі зумовлює розширення і розкид продуктів вибуху разом із частками вихідної речовини, які ще не прореагували. Це розширення починається з периферії і поширюється до осі детонувального заряду зі швидкістю звуку c у продуктах детонації (рис. 2.3).

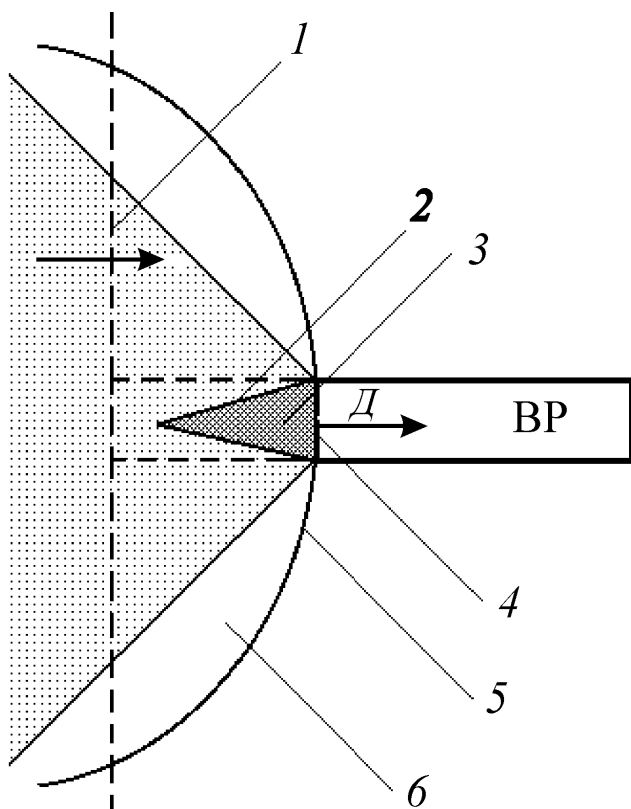


Рис. 2.3. Схема детонації відкритого заряду

1 – площина Чемпена-Жуге; 2, 4, 5, 6 – фронт хвилі відповідно розрідження, детонаційної, ударної та розширення продуктів вибуху; 3 – ділянка, не зачіплена хвилею

Теоретична розробка того, що стійкість детонації визначається співвідношенням між часом хімічної реакції τ_p і часом розкиду часток ВР у детонаційній хвилі під дією хвилі розрідження Θ , ввійшла у гідродинамічну теорію під назвою “принцип Харитона”, що має важливе значення при оцінюванні стійкості детонації ВР, а саме:

якщо $\Theta > \tau_p$, детонація поширюється з максимальною властивою для даної ВР швидкістю;

якщо $\Theta = \tau_p$, детонація поширюється стійко, але з меншою швидкістю, ніж максимальна;

якщо $\Theta < \tau_p$ хімічне перетворення може настільки уповільнитись, що детонація припиниться.

Згідно з “принципом Харитона” будь-яка система, здатна до екзотермічного перетворення з утворенням газоподібних продуктів є вибуховою і чим триваліше хімічне

перетворення, тим більшим повинен бути діаметр заряду, при якому можлива стаціонарна детонація.

2.5.2. Швидкість детонації. Швидкістю детонації прийнято називати швидкість, з якою поширюється детонаційна хвиля по заряду ВР. Позначається літерою “*D*” (див. рис. 2.3) і виражається в м/с, рідше – в км/с.

2.5.2.1. Загальні поняття. Вибухові речовини за своєю нищівною дією поступаються лише ядерному вибуху. Наприклад, 400 г тротилу під час вибуху виконують роботу, еквівалентну одночасному зусиллю понад 1,2 млрд чоловік. Чим же зумовлена здатність ВР виконувати надзвичайно велику роботу? Пояснення досить природне: у вибуховій речовині міститься величезний запас енергії, що виділяється під час вибуху. Однак простий розрахунок показує, що таке пояснення є в корені помилковим: у 1 кг ВР міститься і виділяється під час вибуху значно менше енергії, ніж при згорянні палива, наприклад, 1 кг вугілля чи бензину (4200...6700 і 34500...42000 кДж/кг відповідно). Справжня ж причина полягає в тому, що енергія під час вибуху виділяється украй швидко. Якщо 1кг бензину згоряє за 5...6 хв, то для вибуху 1кг ВР потрібна тільки одна-дві сотисячні долі секунди, тобто вибух відбувається в десятки мільйонів разів швидше. Таким чином, високу потужність вибуху ВР, їхню нищівну дію визначає в основному швидкість детонації.

Приклад. Для ілюстрації впливу швидкості детонації на потужність ВР порівняємо вибух заряду димного порошу масою 1 кг та довжиною 1 м і такого ж заряду амоніту ПЗВ-20.

Рішення. Питома потенційна енергія (теплота вибуху 1кг ВР) заряду порошу масою 1кг і довжиною 1 м дорівнює 2,79 МДж, а амоніту ПЗВ-20 – 3,35 МДж.

Отже, за питомою потенційною енергією ці ВР розрізняються мало, але швидкості вибуху порошу й амоніту ПЗВ-20 дуже різні: швидкість вибуху порошу в середньому дорівнює 200, швидкість вибуху ПЗВ-20 – 3300 м/с.

Потужність вибуху 1 кг:
пороху

$$N_n = \frac{2790 \cdot 200}{1} = 558 \text{ МВт};$$

амоніту

$$N_a = \frac{3350 \cdot 3300}{1} = 11055 \text{ МВт}.$$

Залежно від швидкості вибуху і потужності ВР змінюється і характер дії вибуху на навколишнє середовище. Якщо заряд ВР вибухає в шпурі зі швидкістю 100...200 м/с, то й тиск газів нарастає порівняно повільно і, коли тиск газів перевищить міцність породи, то в найбільш слабких її місцях утворюються тріщини. Гази вибуху, проникаючи в ці тріщини,

розколюють породу на великі шматки і відкидають їх від масиву, тобто проявляється металний характер дії газів. Такі ВР називаються *метальними*.

Якщо заряд ВР вибухає в шпурі з більшою швидкістю (декілька тисяч метрів за секунду), тоді тиск газів вибуху зростає дуже швидко до значень, що у багато разів перевищують міцність породи в найбільш міцних її місцях, при цьому порода розбивається на шматки, більш дрібні, ніж під час вибуху пороху.

Дія газів вибуху ВР, що вибухають із значною швидкістю, носить характер короткого сильного удару, що дробить породу. ВР, здатні вибухати зі швидкістю, вимірюваною тисячами метрів за секунду, називають тими, що дроблять, чи *бризантними ВР*.

Заряд, що дробить ВР, поміщений на брилі породи, під час вибуху може роздробити її. Заряд металної ВР, навіть у кілька десятків разів більший, в аналогічних умовах не може роздробити брилу, тому що вибухове перетворення відбувається порівняно повільно і гази розходяться в повітрі, не створюючи сильного удару.

Під час видобутку вугілля, залізної руди та інших копалин застосовують ВР, що дроблять, а в разі видобутку мармуру, лабрадориту – металні.

У тих випадках, коли бризантна ВР не детонує, відбувається вибухове горіння (при поганій якості ВР, при слабкому детонаторі). Коефіцієнт використання енергії цієї ВР буде менший.

Швидкість детонації – одна з найважливіших характеристик детонаційної здатності ВР, її паспортний параметр. Вона використовується при розрахунках параметрів вибуху, а також для контролю якості промислових ВР. Тому розглянемо фактори, що впливають на швидкість детонації, і методи її вимірювання.

2.5.2.2. Фактори, що впливають на швидкість детонації.

Швидкість детонації залежить від багатьох факторів, головні з яких: склад і фізико-хімічні властивості ВР; діаметр патрона (заряду); щільність патронування ВР; наявність оболонки; вид і сила ініціюючого імпульсу.

Виходячи з “принципу Харитона”, проаналізуємо вплив кожного з перерахованих факторів на швидкість детонації.

Склад і фізико-хімічні властивості ВР. Швидкість детонації зумовлена можливою швидкістю хімічних реакцій, ступенем стійкості молекул ВР і кількістю енергії, що

виділяється під час вибуху, здатної підтримувати детонацію. Характер цього впливу полягає у наступному.

- Чим менший час хімічного перетворення ВР τ_p , тобто чим більша швидкість хімічного перетворення ВР, чим менша стійкість молекул ВР; чим ближче розташовані компоненти один до одного і чим більша потенційна енергія вибуху, тим вище буде швидкість детонації, і навпаки, чим більша стійкість молекули ВР і чим менша її потенційна енергія, тим складніше викликати вибух цієї ВР і тим менша буде швидкість вибуху.

Тому ВР однокомпонентні, тобто вибухові хімічні сполуки, як правило, детонують з більшою швидкістю, ніж вибухові механічні суміші. В цих ВР молекула містить горючі компоненти і кисень для їх окиснення. При розпаді такої молекули на атоми останні, як близько розташовані одні до одних швидко вступають у хімічну реакцію між собою і вибух протікає дуже швидко.

У вибухових механічних сумішах частки компонентів ВР відстоять одна від одної на більших відстанях, ніж в однокомпонентних ВР, і для їхнього вибуху затрачається більше часу.

Вибухові механічні суміші типу чорного димного пороху (суміш калієвої селітри, сірки і деревного вугілля) вибухають з невеликою швидкістю, тому що реакція окиснення вуглецю, що міститься в частках деревного вугілля, киснем калієвої селітри протікає порівняно повільно.

Однак не всі однокомпонентні ВР легко вибухають і мають велику швидкість вибуху. Наприклад, аміачна селітра має високий ступінь стійкості молекул. Крім того, під час її вибуху виділяється порівняно мало енергії, здатної підтримувати детонацію. Через це вона ледве вибухає і лише за допомогою проміжного детонатора, швидкість детонації – 1500 ... 3000 м/с.

- Більш тонке подрібнення активних часток ВР, їхнє ретельне змішування забезпечують більш високу швидкість детонації сумішевих ВР. Зокрема, грубодисперсні ВР мають меншу швидкість детонації, ніж порошкоподібні ВР того ж складу (максимальна швидкість детонації амоніту 63В (порошкоподібна ВР) дорівнює 4800 м/с, а грамоніту 79/21 (грубодисперсна) – 4200 м/с).

- Інертні добавки знижують швидкість детонації сумішевих ВР і здатність їх до неї, причому ступінь такого впливу залежить від розмірів часток: чим дрібніші частки, тим негативний вплив вищий.

Діаметр патрона ВР. Вплив діаметра патрона ВР на швидкість детонації розглянемо на прикладі застосування амоніту Т-19 (рис. 2.4). Якщо діаметр патрона буде

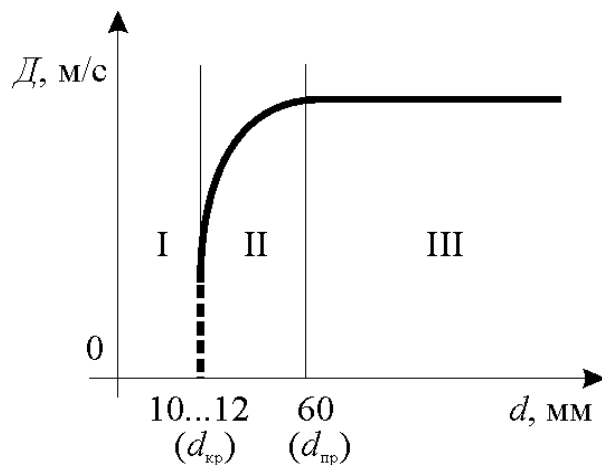


Рис. 2.4. Вплив діаметра патронів ВР на швидкість детонації D :

I, II, III – ділянки детонації відповідно при $\Theta < \tau_p$, $\Theta = \tau_p$, $\Theta > \tau_p$

менш за 10...12 мм, детонація по заряду не поширюється. Якщо діаметр буде більш 12 мм, тоді швидкість детонації зростає, але не безмежно – лише до діаметра, що дорівнює 60 мм. При подальшому збільшенні діаметра швидкість детонації вже не зростає.

Таким чином, кожна ВР має два характерних діаметри: критичний і граничний.

Критичним $d_{кр}$ називається найменший діаметр патрона (заряду) ВР, при якому ще можлива стійка (без згасання) детонація. Вимірюється у мм. При діаметрі

патрона ВР менш критичного детонація згасає тому, що відбувається викид детонувальних часток із зони реакції за межі заряду ВР.

Граничним $d_{пр}$ називають діаметр, при подальшому збільшенні якого швидкість детонації не зростає.

На ділянці кривої від критичного діаметра до граничного швидкість детонації підвищується у зв'язку з тим, що збільшуються розміри зони, у якій протікає реакція вибухового розкладання ВР, оскільки $\Theta = \tau_p$. Але при підході до лінії граничного діаметра вплив розмірів зони реакції на швидкість детонації поступово зменшується, крива вирівнюється і переходить у горизонтальну пряму.

Діаметр патронів для промислових ВР прийнятий таким, щоб забезпечувалася стійка детонація зарядів і мінімальна вартість бурових робіт, а саме 32 і 36 мм (для горизонтальних виробок) і 45 мм (для вертикальних шахтних стволів).

Критичний діаметр – мірило вибуховості будь-якої ВР (здатності ВР вибухати від зовнішнього імпульсу), її паспортним значенням. Чим менший $d_{кр}$, тим більша вибуховість ВР.

Щільність патрунування. Розрізняють дійсну і гравіметричну густину ВР. Дійсною густиною називають відношення маси ВР до займаного нею об'єму, коли речовина займає весь об'єм без яких-небудь повітряних чи інших проміжків. Гравіметричною (насіпною) густиною називається відношення маси ВР до об'єму, що вона займає у порошкоподібному стані, з усіма повітряними проміжками.

Для однокомпонентних ВР зі збільшенням густини швидкість детонації зростає до максимальних значень (рис. 2.5).

Швидкість детонації сумішевих ВР із підвищенням густини патрунування чи пресування до відомих меж збільшується і у разі деякої щільності, названої *оптимальною* $\Delta_{\text{ВРопт}}$, досягає максимуму (рис. 2.6). Вона різна для різних ВР.

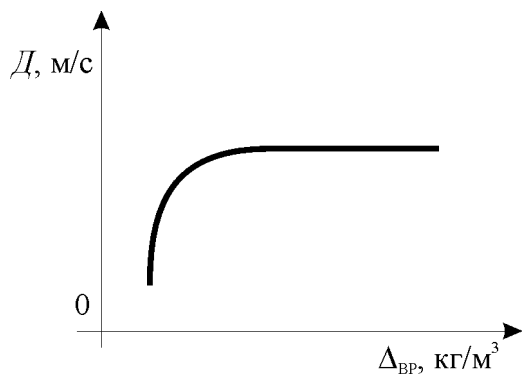


Рис. 2.5. Залежність швидкості детонації D від густини $\Delta_{\text{ВР}}$ однокомпонентних ВР

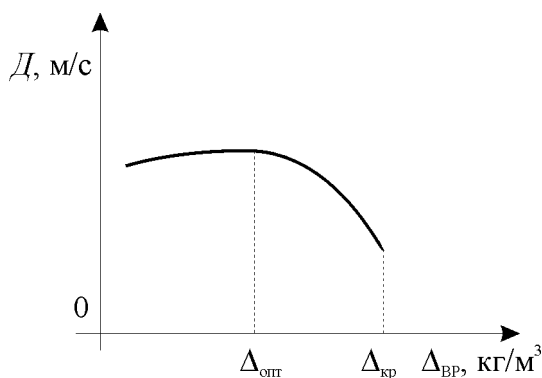


Рис. 2.6. Вплив щільності патрунування $\Delta_{\text{ВР}}$ на швидкість детонації D сумішевих ВР

Збільшення швидкості детонації при підвищенні густини можна пояснити тим, що при більшій густині досягається більша однорідність ВР і більша концентрація енергії в одиниці об'єму; те й інше сприяють швидшому перебігу реакції. Але, щоб реакція виникла і йшла без загасання, ініціувальний імпульс повинен проникати досить глибоко в масу ВР. Надмірне підвищення густини ВР зменшує глибину проникнення імпульсу і робить детонаційну хвилю нестійкою (рис. 2.6).

Як показано вище, для кожної щільності патрунування (різної для різних ВР) є свій критичний діаметр заряду - при меншому діаметрі патрона ВР дає відказ, тому що відбувається викид часток ВР із зони реакції за межі патрона і стійкої детонаційної хвилі не виходить. Саме так для кожної ВР є своя критична густина $\Delta_{\text{ВРкр}}$, перевищення якої спричиняє відказ (див. рис. 2.6). Це відбувається внаслідок того, що при зміні гус-

тини ВР хімічне перетворення компонентів ВР і хімічна взаємодія продуктів вибуху змінюються, у результаті погіршуються умови перебігу хімічних реакцій. Так, при сильному

ущільненні ВР аміачна селітра в амонітах поводитья як інертна речовина і, поглинаючи енергію, унеможливорює поширення детонації по заряду.

На заводах ВР патронують з оптимальною щільністю: для амонітів Т-19, 63В – $1...1,2 \text{ г/см}^3$; для амоналу скельного №1 пресованого – $1,45... 1,50 \text{ г/см}^3$; для вугленіту Є-6 – $1,10...1,25 \text{ г/см}^3$.

Наявність оболонки навколо заряду ВР. Вона еквівалентна збільшенню критичного діаметра ВР. Тому при $d_{\text{зар}} < d_{\text{пр}}$ оболонка помітно підвищує швидкість детонації особливо для однокомпонентних ВР. До того ж дія оболонки визначається насамперед її масою, а не міцністю. Відповідно свинцеві оболонки ефективніші, ніж залізні.

Вид і сила ініціювального імпульсу. Зовнішній вплив на заряд, потрібний для збудження вибуху ВР, називають ініціювальним (початковим) імпульсом.

Розрізняють ініціювальні імпульси: термічний і механічний. Від термічного детонують тільки деякі ВР, велика частина їх згоряє без вибуху (якщо кількість мала) чи дає вибухове горіння. Від механічного імпульсу (удару), навпаки, багато які ВР (нітрогліцерин, піроксилін, динаміти) легко детонують. Найбільш сильний і різкий удар виходить при детонації заряду гримучої ртуті, азиду свинцю, тена та інших бризантних ВР.

Гримуча ртуть і азид свинцю належать до тих небагатьох ВР, що однаково добре детонують як від удару, так і від нагрівання. Ці ВР є ендотермічні хімічні сполуки, що мають велику чутливість до механічних і теплових впливів. При нагріванні гримучої ртуті до 160°C , а азиду свинцю – до 330°C вони детонують зі швидкістю $5,3...5,4 \text{ км/с}$. Завдяки здатності миттєво детонувати від полум'я, ці ВР застосовуються як ініціатори для порушення детонації в інших ВР, що не здатні детонувати від нагрівання.

Вплив потужності ініціювального імпульсу позначається лише на початковій ділянці розвитку детонації, де залежно від імпульсу може бути отримана швидкість детонації вища чи нижча за характерну для даного діаметра заряду, але в будь-якому випадку на ділянці одного- двох діаметрів заряду швидкість стабілізується.

2.5.2.3. Способи вимірювання швидкості детонації. Існують способи: фотографічний, осцилографічний та польовий.

Фотографічний спосіб. Ґрунтується на реєстрації освітленого фронту детонаційної хвилі, що поширюється по заряду ВР. Використовуються фоторегістри із дзеркальною розгорткою (СФР, ЖФР, ЖЛВ та ін.), що дозволяє проводити зйомку світного фронту у режимах безупинної розгортки і покадрової зйомки.

Фоторегістр належить до групи оптичних реєстраторів часу. Він дозволяє фіксувати відрізки часу, що дорівнюють десятимільйонній долі секунди і менші. Принцип дії приладу базується на фотореєстрації полум'я детонації, що падає на швидкообертове плоске дзеркало і, відбиваючись від нього, засвічує смужку на нерухомій фотоплівці, натягненій по дузі кола (рис. 2.7).

Лінійна швидкість променя, що рухається по плівці, чи лінійна швидкість розгортки

$$v_{пл} = 2 \cdot 2\pi n R, \quad (2.22)$$

де n – частота обертання дзеркала, про/з;

R – відстань від дзеркала до плівки, м.

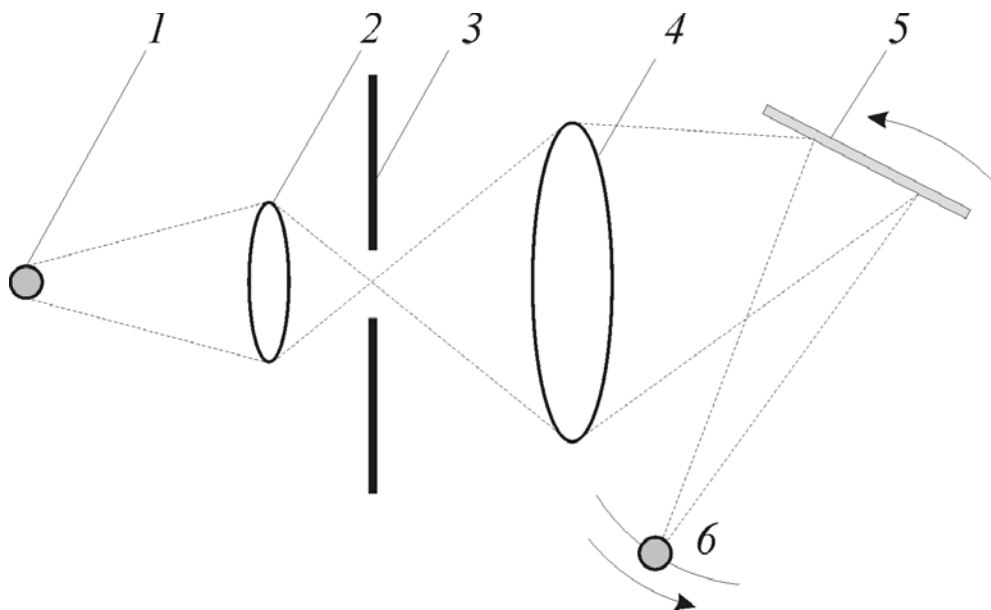


Рис. 2.7 Схема фоторегистра с зеркальной развёрткой:

1 – збряд; 2, 4 – лінзы; 3 – екран; 5 – зеркало; 6 – точка на фотопленке

Множник 2 у формулу променя вдвічі більша, ніж кутова швидкість дзеркала, оскільки кут падіння підсумовується з кутом відбиття. В міру переміщення фронту детонації по заряду промінь переміщається по плівці у вертикальному напрямку. У результаті руху променя по плівці в обох напрямках на ній вийде похила засвічена смужка (див. рис. 2.7).

Швидкість детонації при вимірюванні фоторегістром обчислюється за формулами

$$D = v_{\text{пл}} \frac{l_3}{l_r} = v_{\text{пл}} \frac{kl_{\text{в}}}{l_r} = 4\pi n R \frac{kl_{\text{в}}}{l_r},$$

$$D = 4\pi n R k \text{ctg } \varphi,$$

де l_3 – довжина заряду, м;

l_r і $l_{\text{в}}$ – довжина горизонтальної і вертикальної проекцій засвіченої смуги, м;

k – коефіцієнт зменшення фотозображення;

φ – кут нахилу засвіченої смуги до вертикальної лінії.

Для отримання зображення полум'я детонації треба підривати заряд, коли положення дзеркала визначено. Для цієї мети фоторегістр оснащений спеціальним синхронізуючим пристроєм. При вимірюванні фоторегістром помилка однократного виміру не перевищує 1%, якщо заряд завдовжки 2...3 см. Швидкісні фоторегістри СФР-2 і СФР-3Л дозволяють одержувати також серію окремих знімків з частотою $2 \cdot 10^6$ і $25 \cdot 10^6$ кадрів у секунду.

Осцилографічний спосіб. Заснований на іонізації продуктів вибуху випробовуваної ВР у фронті детонаційної хвилі спосіб (рис. 2.8) зводиться до визначення часу проходження, м/с, детонаційним фронтом ділянки заряду ВР між двома крапками, де встановлюються іонізаційні датчики:

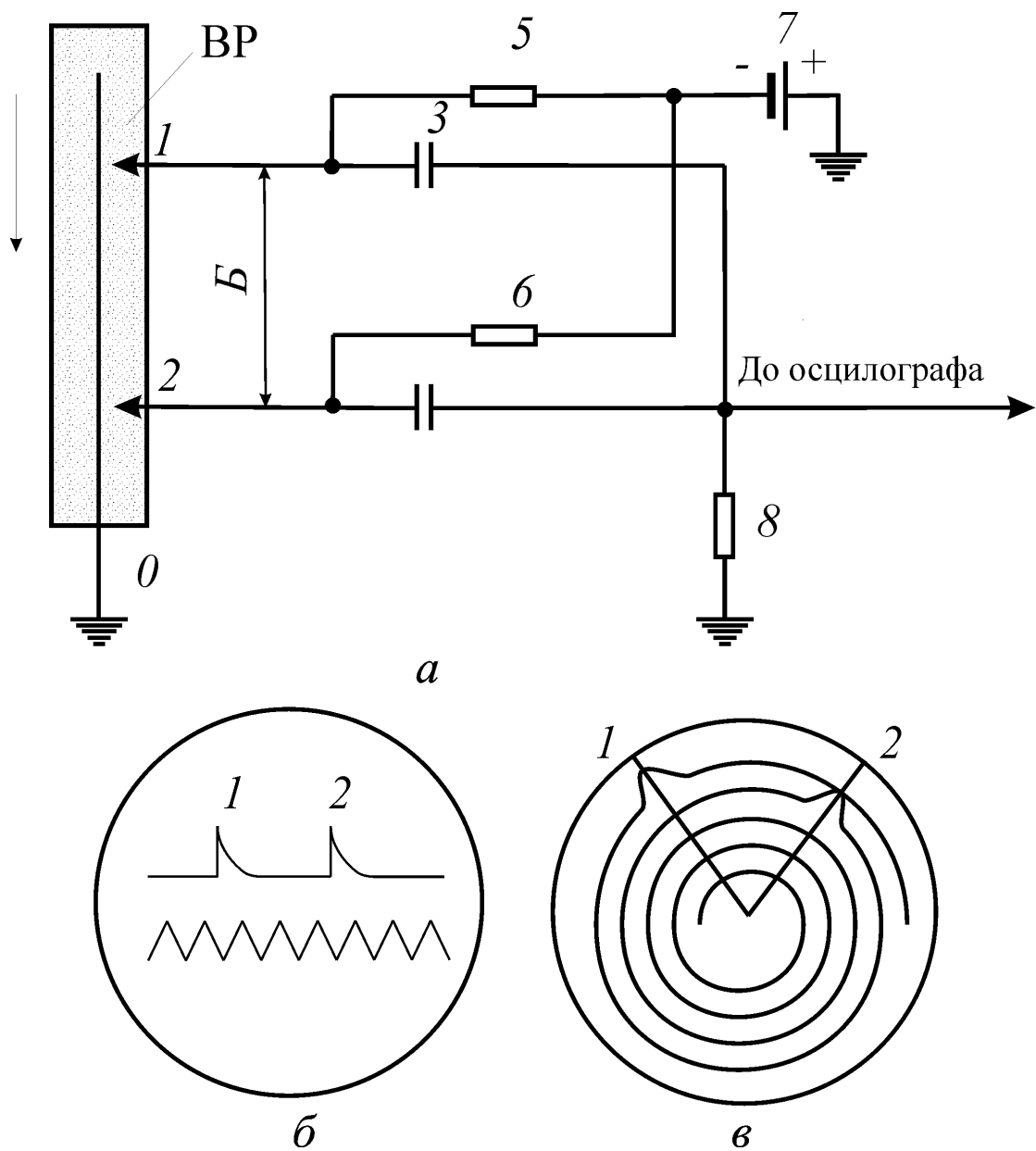


Рис. 2.8. Принципова схема вимірювання швидкості детонації ВР осцилографічним способом:

a – схеми осцилографічного способу визначення швидкості; *б і в* – схеми запису на плівці при визначенні швидкості на осцилографі з лінійною та спіральною розгортками;
0 – нульовий провід; *1, 2* – іонізаційні датчики; *3, 4* – конденсатор; *5, 6* – зарядні опори; *7* – джерело постійного струму; *8* – розрядний опір

$$D = B / \tau_{\text{дет}},$$

де B – відстань між іонізаційними датчиками (база), м;

$\tau_{\text{дет}}$ – час між замиканнями датчиків, с.

Вимірювачами часу можуть бути магнітні і катодні електронні осцилографи (НВ-13, НВ-22, ОК-17) і частотоміри (Ч-5-35, Ч-5-34 і ін.). Іонізаційний датчик являє собою розімкнутий провідник, приєднаний до зарядженого конденсатора. Коли фронт детонації підходить до першого і другого датчиків, іонізовані продукти вибуху як провідники струму замикають коло і конденсатори посилають імпульс на вимірювальний прилад. Запуск осцилографа (частотоміра) здійснюють розривом петлі на електродетонаторі.

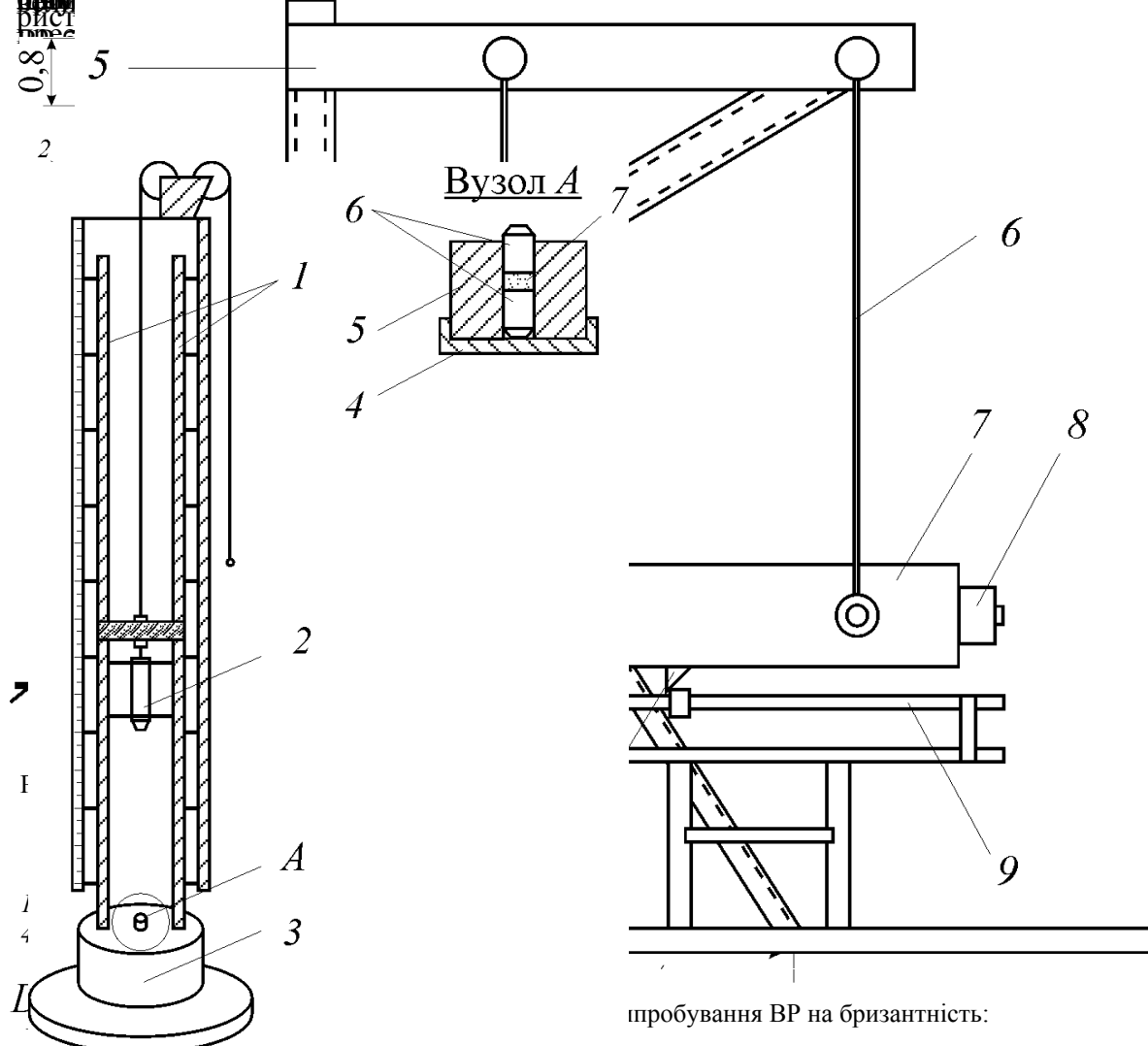


Рис. 2.17. Копер для випробування на чутливість ВР до удару: 1 – дерев'яні стрижки, що утримують заряд; 2 – електродетонатор (капсуль-детонатор); 3 – бабка; 4 – піддон; 5 – напрямні муфточки; 6 – сталеві ролики; 7 – наважка

1 – напрямні вантажу; 2 – вантаж; 3 – бабка; 4 – піддон; 5 – напрямні муфточки; 6 – сталеві ролики; 7 – наважка

$d_{зар}$ – діаметр патрону ВІ, d_k – діаметр основи кумплятивної попожнини; h – глибина

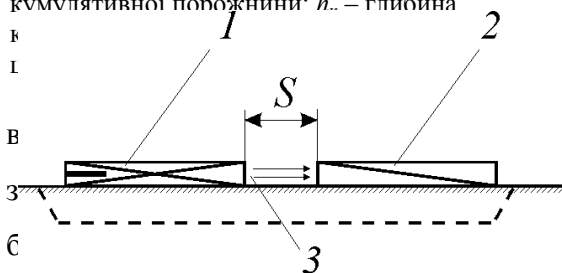


Рис. 2.18. Схема визначення передачі детонації на відстань: 1 і 2 – патрони активний (патрон-бойовик) і пасивний; 3 – середовище між патронами; S – відстань між патронами

1 і 2 – патрони активний (патрон-бойовик) і пасивний; 3 – середовище між патронами; S – відстань між патронами

детонаційна хвиля гонувального шнура (ДШ), збуджуючи в них зустріч одна одній, зустрічаються у точці O, якщо швидкості детонації шнура (тому що $AO=AB+BO$). о буває найчастіше), то зустріч детонаційних хвиль ко видно, тому що при детонації шнура на пластинці у місці зустрічі хвиль на пластинці утворюється для вибуху вимірюють відстань OB.

хвилі від точки A до точки B :

$$t = \frac{c+k}{D_{ш}} = \frac{a}{D_{п}} + \frac{b-k}{D_{ш}},$$

Глава 3

Вибухові хімічні сполуки

За складом індивідуальні ВР підрозділяються на вибухові *хімічні сполуки* (однокомпонентні ВР, індивідуальні ВР) і вибухові *механічні суміші*.

До першої групи належать хімічні сполуки, молекули яких у визначених умовах здатні до розпаду з утворенням нових, головним чином газоподібних, сполук з виділенням енергії, до другої – вибухові механічні суміші, що являють собою систему, побудовану з двох чи більше речовин (як вибухових, так і невибухових), хімічно не зв'язаних між собою. Усі промислові ВР – це механічні суміші. У гірничій справі вибухові хімічні сполуки застосовуються тільки як компоненти вибухових механічних сумішей, а також для виготовлення засобів ініціювання.

За хімічним складом й застосуванням вибухові хімічні сполуки поділяються на чотири групи: ініціювальні; нітросполуки; нітроефіри (нітрати); солі азотної кислоти (селітри).

За роллю в процесі ініціювання (збудження детонації) промислових ВР однокомпонентні ВР підрозділяються на первинні та вторинні.

Первинні ВР призначені для збудження детонації вторинної ВР від променя вогню (чи іншого невибухового початкового імпульсу). Роль їх грають ініціювальні ВР.

Вторинні ВР призначені для формування (у межах ділянки невеликої довжини) детонаційної хвилі, здатної збудити стійку детонацію промислової ВР. Це найбільш потужні індивідуальні вискобризантні ВР, наприклад гексоген (його бризантність понад 60 мм – свинцевий стовпчик повністю руйнується).

З усіх однокомпонентних ВР розглянемо лише ті, котрі найширше застосовуються під час виробництва промислових ВР і засобів ініціювання.

3.1. Ініціювальні вибухові речовини

Це вискобризантні ВР, що характеризуються підвищеною чутливістю до зовнішніх впливів (удару, наколу, проміння вогню, нагрівання) і дуже коротким періодом наростання швидкості детонації (детонують у невеликих масах – частках грамів).

3.1.1. Гримуча ртуть. $\text{Hg}(\text{CNO}_2)$ (ртутна сіль гримучої кислоти). Це дрібнокристалічна речовина білого чи сірого кольору; отримується з металевої ртуті шляхом обробки її етиловим спиртом в азотній кислоті. Густина кристалів дорівнює $4,42 \text{ кг/дм}^3$, гравіметрична густина – $1,6 \text{ кг/дм}^3$. Суха гримуча ртуть чутлива до вогню і до механічних впливів. Температура спалаху (при цьому відбувається детонація) дорівнює $160\ldots 165^\circ\text{C}$. Швидкість детонації гримучої ртуті при густині $3,3 \text{ кг/дм}^3$ дорівнює $5,4 \text{ км/с}$, чутливість до удару 2 см, працездатність 110 см^3 . При дряпанні чи переламуванні кристалика виникає вибух.

Гігроскопічність гримучої ртуті невелика, але при збереженні під водою вона усмоктує до 30% вологи. Волога гримуча ртуть не небезпечна у користуванні. Так, якщо вологість 30% вона не вибухає від вогню й удару, але добре детонує від вибуху заряду сухої гримучої ртуті. У присутності вологи гримуча ртуть здатна взаємодіяти з деякими металами, утворюючи дуже небезпечні вибухові з'єднання – фульмінати. Особливо легко реагує з алюмінієм (тому її не поміщають в алюмінієві гільзи). Через токсичність парів застосовується тільки як первинна ВР у капсулах-детонаторах (КД). Цим забезпечується їх висока безпека: гримуча ртуть добре пресується і тому не виймається з відкритої гільзи.

У гільзи детонаторів гримучу ртуть запресовують при тиску не вище 25 МПа, Густина при цьому досягає $3,3 \text{ кг/дм}^3$. У випадку перевищення зазначеної густини гримуча ртуть перестає детонувати від променя вогню і дає відкази.

3.1.2. Азид свинцю. PbN_6 (свинцева сіль азотисто-водневої кислоти). Це – дрібнокристалічний порошок білого кольору, сіль азотисто- водневої кислоти HN_3 . Густина кристалів $4,8 \text{ кг/дм}^3$. Вологи не боїться і при вмісті її до 30% не втрачає вибухових властивостей. Азид свинцю менш чутливий до вогню і механічних впливів, ніж гримуча ртуть. Температура спалаху (при цьому відбувається детонація) дорівнює 330°C , чутливість до удару 6 см, працездатність 115 см^3 .

Від вогню азид свинцю так само добре детонує, як і від удару. Як ініціувальна ВР краще гримучої ртуті. У детонаторах пресується до густині $4,6 \text{ кг/дм}^3$. Швидкість детонації дорівніє $5,3 \text{ км/с}$.

У присутності вологи і вуглекислоти азид свинцю легко взаємодіє з міддю, утворює чутливий азид оксидної міді; із залізом взаємодіє погано, а з алюмінієм не взаємодіє. Через це детонатори з азидом свинцю виготовляють в алюмінієвих, біметалічних чи картонних гільзах, крім мідних.

Азид свинцю – більш потужна первинна ініціювальна ВР, ніж гримуча ртуть, а газу вибуху менш отруйні. Тому в промисловості переходять до застосування цієї ініціювальної ВР в електродетонаторах (ЕД), тобто в закритих конструкціях.

Оскільки азид свинцю менш чутливий до вогню, аніж гримуча ртуть, для безвідмовності дії детонаторів його іноді застосовують разом з більш чутливим до теплового імпульсу тенересом. У чашечку ЕД поверх заряду азиду свинцю як проміжний заряд поміщають 0,1 г тенереса (температура спалаху 270°C), що викликає вибух азиду свинцю, а останній підриває заряд вторинної (бризантної) ВР.

3.1.3. ТНРС (тенерес). $C_6H(NO_2)_3O_2Pb \cdot H_2O$ (свинцева сіль стифнінової кислоти) – тринітрорезорцинат (стіфнат) свинцю. Це кристалічний порошок золотисто-жовтого кольору. Густина кристалів 3,01 кг/дм³. Малорозчинний у воді, малогігроскопічний. Фізично і хімічно стійкий. З металами не взаємодіє. Температура спалаху 270°C, працездатність 110 см³, чутливість до удару 11 см. Швидкість детонації 5,2 км/с.

3.2. Нітросполуки

3.2.1. Тетрил. $C_6H_2(NO_2)_3N(NO_2)CH_3$. Це дрібноокристалічна ВР блідо-жовтого кольору. Температура спалаху 190°C, працездатність 380 см³, бризантність 22 мм, чутливість до удару 30 см. Швидкість детонації при густині 1,65 кг/дм³ дорівнює 7...7,2 км/с. Тетрил дуже чутливий до детонації і добре передає її іншим ВР. Практично не гігроскопічний, не розчинний у воді і має порівняно високу хімічну стійкість. Однак він здатний досить енергійно взаємодіяти з аміачною селітрою, виділяючи теплоту. Ця суміш здатна до самозапалювання і тому виготовлення і застосування таких сумішей категорично заборонені.

Тетрил – токсична речовина. Під час роботи з ним на заводах-виготовлювачах відкриті частини тіла (руки, обличчя) жовтіють (жовтизна тримається приблизно два тижні).

Належить до ВР підвищеної потужності, тому багато років його застосовували як вторинну ВР, спресовану до 1,68 кг/дм³ у всіх детонаторах (гримучортутнотетрилові). На цей час його застосовують в основному для виготовлення пресованих шашок – проміжних детонаторів (допдетонаторів) при підриванні малочутливих до детонації ВР (водонаповнених, гранулітів та ін.).

3.2.2. Гексоген. $C_3H_6N_3(NO_2)_3$. Це кристалічний порошок білого кольору. Температура спалаху 290°C, працездатність 520 см³, бризантність 29 мм, чутливість до

удару 30 см. Швидкість детонації при густині $1,7 \text{ кг/дм}^3$ дорівнює $8,3 \text{ км/с}$. Одна з потужних однокомпонентних ВР. Застосовується у всіх типах детонаторів як вторинна ВР і в складі потужних аміачно-селітрених ВР. Крім того, використовується в сплавах із тротилом для виготовлення шашок (ТГ-500), що застосовуються як проміжні детонатори.

3.2.3. Тротил (тол, тринітротолуол). $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$. Це – кристалічна речовина блідо-жовтого кольору. Вихідним продуктом при виготовленні тротилу є кам'яновугільний чи нафтовий толуол, який обробляють сумішшю азотної і сірчаної кислот. Випускають у вигляді лусочок. Перед уведенням до складу ВР подрібнюють на порошок. Порошкоподібний тротил добре пресується і легко плавиться при температурі $80,5^\circ\text{C}$.

Густина у порошкоподібному виді $0,9 \text{ кг/дм}^3$, при пресуванні $1,55 \text{ кг/дм}^3$, плавленого $1,54\ldots 1,59 \text{ кг/дм}^3$. Температура спалаху дорівнює 310°C . Працездатність 300 см^3 , бризантність 16 мм, чутливість до удару 85 см (простріл кулею, як правило, вибуху не викликає). Чутливість тротилу до механічних впливів (до початкового імпульсу) залежить від його фізичного стану: порошкоподібний і пресований вибухають від капсуля-детонатора; лускоподібний і литий вибухають тільки від проміжного детонатора (порошкоподібного чи пресованого тротилу або іншої ВР).

Має негативний кисневий баланс, тому при вибуху утворюється велика кількість оксиду вуглецю. Токсичний, особливо в тонкоподрібненому стані, викликає тротилу інтоксикацію організму, подразнення шкіри і хворобу очей.

Тротил належить до ВР середньої потужності. Широко використовується як складова частина більшості промислових ВР. У чистому вигляді чи в суміші з гексогеном (теном) застосовується у вигляді литих чи пресованих шашок як проміжний детонатор.

3.3. Нітроефіри

На основі цієї групи хімічних сполук створені найбільш потужні пластичні і напівпластичні промислові ВР, названі нітрогліцериновими чи нітроефірними.

3.3.1. Тен (тетранітропентаеритрит). $\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$. Це – кристалічний порошок білого кольору. Температура спалаху 220°C , працездатність 500 см^3 , бризантність 25 мм, чутливість до удару 30 см. У детонаторах тен пресується до густини $1,62 \text{ кг/дм}^3$, вологи не боїться. Швидкість детонації $8,2\ldots 8,7 \text{ км/с}$. Застосовується при виготовленні детонувальних шнурів, а також проміжних детонаторів.

3.3.2. Колодіонна бавовна (піроксилін). Це тверда ВР, яку одержують при обробленні клітковини (бавовни) азотною кислотою в присутності сірчаної кислоти. Піроксилін з 11 нітрогрупами $C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$ називається *нерозчинним*, а з 9 ($C_{24}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9$) – розчинним піроксиліном чи колодіонною бавовною. Розчиняється в суміші спирту з ефіром, у нітрогліцерині, у нітрогліколі та в інших органічних розчинниках, утворюючи колоїдний розчин. Колодіонна бавовна використовується для виготовлення бездимних порохів, а також пластичних і напівпластичних ВР. Піроксилін, спресований у шашці густиною $1,2 \text{ кг/дм}^3$, має швидкість детонації $4,3 \text{ км/с}$. Температура спалаху 177°C .

3.3.3. Нітрогліцерин. $C_3H_5(ONO_2)_3$. Його отримують при обробленні гліцерину сумішшю азотної і сірчаної кислот. Являє собою безбарвну маслянисту рідину. Отруйний. Густина дорівнює $1,6 \text{ кг/дм}^3$, чутливість до удару 4 см . Температура спалаху 180°C . Температура замерзання може бути $+13^\circ\text{C}$ і $+2^\circ\text{C}$, що пояснюється існуванням двох модифікацій, які відрізняються лише фізичними властивостями. Небезпечний у використанні. Самостійно для підривних робіт не застосовується, але є одним з основних компонентів у багатьох вибухових речовинах. Працездатність дорівнює 550 см^3 , бризантність 20 мм .

3.3.4. Нітрогліколь. $C_2H_4(ONO_2)_2$. Його отримують при обробленні спирту гліколя сумішшю азотної і сірчаної кислот. Безбарвна рідина, густина $1,49 \text{ кг/дм}^3$, Температура спалаху $+215^\circ\text{C}$, температура замерзання $-22,6^\circ\text{C}$. Добре змішується з нітрогліцерином і знижує його температуру замерзання. Застосовується для виготовлення ряду ВР. Працездатність 650 см^3 , бризантність 30 см , чутливість до удару 7 см .

3.4. Селітри

З огляду на низьку детонаційну здатність селітр, за умовами збереження і транспортування вони не відносяться до ВР.

3.4.1. Аміачна селітра. NH_4NO_3 . Це кристалічний порошок білого кольору, одержують синтетичним шляхом на азотнотукових заводах. Працездатність $165\text{....}230 \text{ см}^3$, густина $1,7 \text{ кг/дм}^3$, швидкість детонації $1,5\text{....}3 \text{ км/с}$, дуже гігроскопічна, легко розчиняється у воді.

Під час зберігання аміачної селітри відбувається перекристалізація, що супроводжується спіканням, з пухкої перетворюється на тверду масу. При тривалому зберіганні аміачна селітра злежується. Самостійно (як ВР) вона не використовується, але входить до складу багатьох вибухових механічних сумішей.

Через те що під час вибуху аміачної селітри виділяється багато газоподібних продуктів і мало теплоти, і, крім того, розвивається невисока температура, її вводять як основний компонент у запобіжні ВР. Для зменшення гігроскопічності і злежуваності аміачну селітру обробляють гідрофобними добавками (оксидом заліза). У маркуванні таким модифікаціям аміачної селітри додають індекс ЗВ.

3.4.2. Натрієва і калієва селітри. NaNO_3 і KNO_3 . Містять у 2 рази більше кисню, ніж аміачна селітра, мають позитивний кисневий баланс (більше 40%). Густина кристалів більше 2 кг/дм^3 . При вибуховому розкладанні утворюють мало газів і багато твердих оксидів. Суміші цих селитр із горючими чуттєві до механічних впливів і до запалення. Вони мають обмежене застосування – для приготування високозапобіжних водомістких ВР, які селективно детонують ВВ. Добавки цих селитр підвищують густину ВР, знижують температуру замерзання, добре утримують воду у складі ВР, перешкоджаючи їх висиханню.

Глава 4

Промислові вибухові речовини

4.1. Загальні відомості

Промислові ВР – це вибухові речовини, які характеризуються зниженою чутливістю до зовнішнього впливу і відносно невисокою вартістю. Вони повинні безвідмовно детонувати від засобів ініціювання (ЗІ), не мати шкідливого впливу на організм людини під час виготовлення і роботи з ними.

Усі промислові ВР, тобто ВР, що застосовуються у народному господарстві і у промисловості, як зазначалось у розд. 3, є вибуховими механічними сумішами двох чи декількох вибухових речовин або ж механічними сумішами вибухових і невибухових речовин. Наприклад, амоніт 63В являє собою механічну суміш двох ВР – аміачної селітри (79%) і тротилу (21%); амоніт Т-19 – механічну суміш двох вибухових речовин – аміачної селітри (61%), тротилу (19%) і невибухової речовини – кухонної солі (20%); амонал скельний №1 пресований – механічна суміш трьох – аміачної селітри (66%), тротилу (50%), гексогену (24%) і невибухової речовини – алюмінієвої пудри (5,0%).

За фізичним станом промислові ВР можуть бути: порошкоподібні, гранульовані, пресовані, напівпластичні, пластичні, рідкі, литі, текучі (що ллються). Найбільшого поширення у промисловості одержали перші з перерахованих чотири види ВР.

За характером дії продуктів вибуху на середовище промислові ВР підрозділяються на ті, що дроблять, і металеві (ініціювальні і бризантні).

Фізико-хімічними характеристиками промислових ВР: щільність, технологічна і хімічна стійкість та сипкість.

Розрізняють *щільності* ВР:

справжню – відношення маси ВР до її власного об'єму без урахування об'єму яких-небудь повітряних проміжків. Поняття справжньої щільності застосоване до речовини, що знаходиться у рідкому чи розплавленому стані;

гравіметричну – відношення маси ВР до об'єму, що займає речовина разом з повітряними проміжками, що є між частками;

патрунування – відношення маси патрона до його об'єму (з оболонкою);

заряджання – відношення маси заряду ВР до об'єму зарядної камери, призначеної для розміщення заряду ВР.

Технологічна стійкість ВР – це здатність ВР зберігати свої первісні властивості і якості під час перевезення, підготовки і заряджання;

Хімічна стійкість – здатність ВР зберігати незмінними свої хімічні властивості під час зберігання, перевезення, перебування в шпурі (свердловині);

Сипучість – здатність ВР вільно висипатися через калібровані отвори і заповнювати замкнені об'єми (бункери, шпури, свердловини, камери). Добру сипучість мають гранульовані ВР, погану – порошкоподібні.

4.2. Основні компоненти вибухових механічних сумішей

Як відомо, вибухове перетворення всіх сучасних промислових ВР базується на окисненні горючих елементів киснем. Тому усі без винятку вибухові механічні суміші повинні складатися не менше, ніж із двох (вибухових чи невибухових) компонентів, а саме: горючого (горючої добавки), окиснювача.

Окиснювачі – речовини, що містять надлишковий кисень і здатні легко віддавати його (аміачна, калієва, натрієва селітри).

Горючі добавки – тверді (рідкі) невибухові (вибухові) речовини, багаті на вуглець, водень, алюміній чи магній (алюмінієва і магнієва пудра, деревне борошно, солярове масло та ін., що легко окиснюються з виділенням великої кількості теплоти.

ВР, що складаються лише з аміачної селітри і невибухового горючого, називають *найпростішими* ВР. Прикладом таких ВР є динамони, що широко застосовувалися у роки Великої Вітчизняної війни (як горючі компоненти в використовували торф, деревне борошно, тощо).

Сучасні найпростіші ВР (грануліти) як горючу добавку містять дизельне паливо, мінеральне масло, алюмінієву пудру й ін.

Перевага найпростіших ВР – у можливості їхнього виготовлення безпосередньо на робочому місці, а також їхня дешевизна. До недоліків варто віднести невисоку потужність, низьку чутливість до ініціювального імпульсу (для їх вибуху треба застосовувати додаткові детонатори) і відсутність передачі детонації на відстань.

Сенсибілізатори – третій найважливіший компонент сумішевих ВР. Це речовини, що вводяться до складу промислових ВР для підвищення їх енергетичних характеристик, чутливості до початкового імпульсу, а також до передачі детонації на відстань (тротил, нітрогліцерин, нітрогліколь, гексоген та ін.). Сенсибілізатори з негативним кисневим балансом, наприклад, тротил ($B_k = -74\%$), одночасно виконують роль горючої добавки. Відкриття таких сенсибілізаторів було найвідзначнішою рецептурною знахідкою. Воно дозволило створити

потужні двокомпонентні промислові ВР (за типом найпростіших) I і II класів, здатних вибухати від штатних електродетонаторів і передавати детонацію на відстань (амоніт 63В та ін.).

Крім цих основних компонентів, сумішеві ВР можуть містити й інші спеціальні добавки, що поліпшують фізико-хімічні властивості і знижують чутливість до механічних впливів, а саме: загусники (желатинізатори), стабілізатори, флегматизатори, полум'ягасники.

Загусники – речовини, що желатинізують рідкі компоненти ВР (воду, нітрогліцерин), надаючи їм необхідний ступінь пластичності, а також водостійкості. У сумішевих ВР, що містять як сенсibilізатор нітрогліцерин, роль загусника виконує колодіонна бавовна, а в інших ВР- натрієва сіль карбоксилметилцелюлози (натрій - сіль КМЦ), крохмаль та ін.

Стабілізатори – речовини, що вводяться до складу ВР для підвищення хімічної і фізичної стійкості ВР, тобто для підвищення стабільності властивостей ВР. Найбільш розповсюджений стабілізатор – деревне борошно. У порошкоподібних аміачно-селітрених ВР вона є розпушувачем, а у нітроефірних – поглиначем нітроефірів, що знаходяться в краплинно-рідкому стані. Поряд з цим деревне борошно виконує роль горючої добавки.

На другому (після деревного борошна) місці з підвищення стійкості ВР, зокрема водостійкості, знаходиться тальк.

Уведення нітрогліколю до складу ВР, що містять нітрогліцерин, дозволяє створити труднозамерзаючі ВР (якщо нітрогліцерин замерзає при температурі $+13,2^{\circ}\text{C}$, то така суміш нітроефірів – при -20°C). Поряд з цим нітрогліколь виконує функції сенсibilізатора.

Флегматизатори – речовини, що додаються до складу ВР для зниження чутливості до зовнішніх впливів (удару, тертя, променя вогню, нагрівання) і тим самим забезпечують більш безпечні умови виготовлення і застосування промислових ВР – вони обволікають частки ВР, не вступаючи з ними в реакцію (парафін, віск, графіт, стеарати, вода та ін.).

Роль *полум'ягасників* докладно буде розглянута в §4.5.

4.3. Класифікація промислових ВР за умовами застосування (запобіжності)

У підземних виробках при розробці деяких корисних копалин зустрічаються горючі гази і пил, що, змішуючись з повітрям, утворюють газові і пилоповітряні вибухові суміші. Так, у калійних шахтах виділяються метан і водень, у мідно-колчеданових і сірчаних рудниках - вибуховий сірчаний пил, в озокеритових – пари бензину і сірководень, у вугільних шахтах – метан і утворюється вибуховий вугільний пил.

Підвищена небезпека підричних робіт у шахтах зумовлена наступними факторами: раптовим (впродовж декількох секунд після початку підривання шпурових зарядів ВР) виділенням значної кількості метану (до 150 м^3 і більше) і утворенням тонкодисперсного ву-

гільного пилю (до 150 кг і більше). Вибуховість газопилоповітряних сумішей наведена в табл. 4.1.

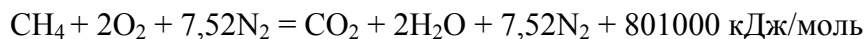
Таблиця 4.1. Параметри спалахування сумішей

Суміш	Мінімальна енергія спалахування, Дж	Критична температура спалахування, T_k , К
Метаноповітряна (МПС)	$0,28 \cdot 10^{-3}$	923
Пилоповітряна (ППС)	15	1123

На чутливість метаноповітряної суміші до нагрівання, що характеризується температурою спалаху, впливають домішки деяких газів і розпилення твердих речовин. Одні з цих речовин підвищують чутливість до нагрівання, інші, навпаки, знижують. Оксид вуглецю (CO), диоксид азоту (NO₂) і кисень (O₂) підвищують чутливість метаноповітряної суміші до нагрівання, а азот і вуглекислота зменшують. Аналогічно впливають на метаноповітряну суміш хлористі натрій, калій та деякі інші речовини, що є інгібіторами чи негативними каталізаторами.

За нормальних умов метаноповітряна суміш вибухає при вмісті метану від 5% (нижня концентраційна межа спалахування – НМС) до 15% (верхня концентраційна межа спалахування – ВМС). Найсильніші вибухи відбуваються при вмісті метану близькому до *стехіометричного**, тобто 9,46% за об'ємом (стехіометричною називається газоповітряна суміш, у якій вміст горючих елементів достатній для повного окиснення киснем повітря). При більшому вмісті метану чи повітря вибух буде слабкіший, тому що надлишковий компонент, не беручи участі у вибуху, поглинає частину теплоти вибуху на власне нагрівання.

Вибух метаноповітряної суміші описується рівнянням



Ділянка концентрацій між НМС і ВМС називається *ділянкою спалаху*.

Метаноповітряна суміш із вмістом метану до 5% горить при наявності постійного джерела запалення. Суміш, що містить понад 15% метану, може горіти спокійним полум'ям поблизу джерела запалення при надходженні кисню у зону полум'я горіння, наприклад, шляхом дифузії з повітря, що оточує полум'я.

Найбільший вплив на зміну концентраційних меж запалення мають: домішка інертних компонентів (знижують ВМС), вміст кисню (ВМС метанокисневої суміші дорівнює 61%), початковий тиск (при адіабатичному стисненні, як свідчать досліді, може вибухати

метаноповітряна суміш, що містить від 2 до 75% метану, таке стиснення іноді можливе у привибійному просторі виробки від сильної ударної хвилі під час підричних робіт); початкова температура (при підвищенні температури на кожні 100°C НМС знижується на 10%, а ВМС підвищується на 15%); домішка вищих гомологів метану (знижує НМС).

Як зазначалося, крім метану, небезпечний і вугільний пил. Вибухонебезпечним є дрібний (менш 1000 мкм) бархатистий вугільний пил, який утворюється при розробці пластів, що містять понад 6% летких речовин. Небезпечним вважається пил з виходом летких речовин 27...35% і розміром часток 75...100 мкм. Для найнебезпечнішого вугільного пилу нижня концентраційна межа вибуху дорівнює 10 г/м^3 , верхня – 2500 г/м^3 . Найруйнівнішим є вибух пилоповітряної суміші з 300 г пилу у 1 м^3 повітря.

Один з найважливіших заходів із забезпечення безпеки підричних робіт у шахтах, небезпечних щодо газу чи розробляючих пласти, небезпечні через вибух пилу, – застосування спеціальних ВР, які зменшують імовірність спалахування вибухонебезпечної рудникової атмосфери. Такі ВР називають *запобіжними* (застаріла назва – антигризунтні, від французького *grisou* – рудниковий газ). Тому особливе місце в системі класифікації ВР займає класифікація за запобіжністю, тобто за умовами застосування. В її основу покладено небезпечність виробок щодо метану і вугільного пилу, а також умов підривання зарядів ВР.

За умовами застосування промислові ВР поділяються на дві групи і вісім класів (табл. 4.2).

Чим більший номер класу, тим вищий рівень запобіжності ВР, тобто ВР є більш безпечними у відношенні займання газопилоповітряної суміші (щоб спростити відмінність класів ВР, патрони ВР поміщають в оболонки різного кольору чи наносять смугу встановленого кольору).

Конкретна область застосування ВР різних класів наведена у ЄПБ. Однак ВР більш запобіжну допускається застосовувати в умовах, обумовлених для менш запобіжних, тобто допускається переміщення в табл. 4.2 з низу до верху (переміщення у зворотному порядку суворо заборонено).

* Стехіометрія (від грецького *stoicheion* – основа, елемент, *metrio* – вимірювати) – розділ хімії, який містить закони кількісних співвідношень між реагуючими речовинами, виводи формул і рівнянь хімічних реакцій.

Таблиця 4.2. Класифікація промислових ВР за умовами застосування

Клас ВР	Умови застосування	Колір об- лонки пат- рона (смуги)
<i>Незапобіжні ВР</i>		
I	Для підривання тільки на земній поверхні	Білий
II	Для підривання на земній поверхні й у підземних виробках, у яких відсутнє виділення горючих газів і утворення вибухового вугільного пилу	Червоний
<i>Запобіжні ВР</i>		
III	Для підривання тільки по породі в підземних виробках, у яких виділяється метан, але немає вибухового вугільного пилу	Синій
IV	Для підривання по вугіллю і породі у підземних виробках, що проводяться по вугільному пласту, небезпечному за вибухом пилу, у якому є виділення метану, крім виробок з підвищеним виділенням горючих газів; для хитного підривання у вибоях підземних виробок вугільних шахт	Жовтий
V	Для підривання по вугіллю і породі в підземних виробках з підвищеним виділенням горючих газів, проведених по вугільному пласту, небезпечному за вибухом пилу (особливо небезпечних)	– // –
VI	Для підривання по вугіллю і породі у виробках з підвищеним виділенням горючих газів, проведених в умовах, коли можливий контакт бічної поверхні шпурового заряду з газоповітряною сумішшю, що знаходиться в тріщинах гірського масиву перетинають шпур, або у виробці; для підривання у вугільних і змішаних вибоях підняттях (з кутом понад 10°) виробках, у яких виділяється горючий газ, при довжині виробок більш 20 м і проведенні без попередньо пробурених свердловин, що забезпечують провітрювання за рахунок загальшахтної депресії	– // –
VII	Для ведення спеціальних підривних робіт: вибухового перебивання дерев'яних стояків під час посідання покрівлі, при ліквідації зависань гірської маси у вуглеспускних виробках, для дроблення негабаритів у вибоях підземних виробок та ін.	– // –
Спеціальний (С)	Для підривних робіт у шахтах, небезпечних за вибухом сірчаного пилу, водню і важких вуглеводнів	Зелений

4.4. Основи теорії запобіжних вибухових речовин

Безпосередніми причинами, що викликають займання метаноповітряної суміші при підривних роботах, можуть бути: повітряна ударна хвиля, розпечені чи палаючі тверді

частки і високотемпературні газоподібні продукти вибуху. Два останні є найбільш ймовірними.

Під час вибуху зарядів у вибої у привибійну атмосферу приходить насамперед ударна хвиля, яка викликає стиснення повітряного середовища і підвищення температури. Потім газоподібні продукти вибуху, що мають високу температуру, розширюються, стискають прилеглі шари атмосфери і підвищують їх температуру. Крім того, змішуючись з атмосферою вибою, вони збільшують температуру шляхом прямого теплообміну.

Газами вибуху іноді викидаються розпечені частки вугілля, паперова оболонка патронів і палаючі частки самої ВР, що не встигли прореагувати у шпурі під час вибуху. Усе це разом з нагрітими газоподібними продуктами вибуху – вірогідне джерело займання метаноповітряної суміші. Займання її може також статися від вторинного полум'я, яке утворюється при змішуванні з повітрям газів вибуху, що містять оксид вуглецю. Таким чином, під час вибуху зарядів виникають складні комбінації збудників вибуху метано- і пилоповітряної суміші. Це ускладнює теоретичне пояснення сукупності дії усіх показників вибуху.

Існуючі гіпотези враховують лише деякі головні фактори, вплив яких найпомітніший. Але навіть і у цьому випадку вони дозволяють робити менше помилок при підборі запобіжних ВР і умов підривання. Першою з них за часом є термічна гіпотеза Малляра і Ле-Шательє. Вона враховує тільки вплив температури газів вибуху і тривалість зіткнення з метаноповітряною сумішшю. Французькі дослідники вперше встановили, що запалення відбувається із затримкою, названою *часом (періодом) індукції*. Зниження температури джерела запалення і уведення у вибухову суміш інертних добавок збільшує час індукції (табл. 4.3). Діоксид азоту, що міститься в продуктах вибуху, є позитивним каталізатором. Він скорочує період індукції спалахування і зменшує температуру займання МПС на 423...523 К.

Таблиця 4.3. Вплив температури середовища на час індукції

Інертні добавки	Період індукції, с, при температурі, К, джерела спалахування		
	923	1023	1073
Суміш без добавок	10	1,8	0,5
Хлористий натрій	-	3,2	0,6
Хлористий калій	-	-	5,6

З цієї теорії випливає, що спалахування не відбудеться за будь-якої температури, якщо час контакту джерела займання з вибуховою сумішшю буде менший за час індукції

(наприклад, простріл розпеченою кулею вибухової МПС не приводить до її запалення). Тому у випадку застосування ВР із невеликою температурою вибуху і достатньою швидкістю детонації метаноповітряна суміш, внаслідок наявності уповільнення її займання і швидкого охолодження газів вибуху у вільному просторі вибою, може не вибухнути. На підставі цього Малляр і Ле-Шательє запропонували застосовувати в шахтах, небезпечних щодо газу, вибухові речовини з температурою вибуху не більше 1900°C – при підриванні породи і не більше 1500°C – при підриванні вугілля.

Термічна гіпотеза Малляра і Ле-Шательє пізніше була розвинута Одибером, який довів, що під час вибуху має місце наступна схема займання метаноповітряної суміші. Продукти вибуху, надходячи у привибійну дільницю, змішуються з метаном і повітрям і підвищують їх температуру. Таким чином утворюється суміш метану, що має усереднену температуру, залежну від теплоти продуктів вибуху. Відповідно до цієї гіпотези основний параметр, що визначає імовірність спалахування, – питома теплота вибуху: чим вона менша, тим безпечніша ВР.

Шляхом дослідів Одибер встановив, що до групи запобіжних можна відносити ВР: із нульовим кисневим балансом, теплота вибуху яких, що припадає на 1 кмоль газоподібних продуктів вибуху, буде менше 899000 кДж; із позитивним кисневим балансом, теплота вибуху яких, що припадає на 1 кмоль газоподібних продуктів вибуху, задовольнить

$$q < 899000 - 393100 \frac{n_k}{\sum n},$$

де n_k – число кіломолей вільного кисню в продуктах вибуху;

$\sum n$ – загальне число кіломолей продуктів вибуху.

У цій формулі враховується взаємодія кисню з вугіллям.

Вітчизняними дослідниками встановлено, що третім енергетичним параметром, що визначає запобіжні властивості ВР, є швидкість детонації (теплова потужність вибуху): чим вона менша, тим безпечніша промислова ВР.

Академіком М.М. Семеновим і його послідовниками було доведено, що у вугільних шахтах можливий ланцюговий механізм займання вибухонебезпечних сумішей, тобто без підвищення початкової температури реагуючого середовища (так зване “холодне” спалахування). Згідно з гіпотезою, реакція горіння носить характер розгалужуваного ланцюга. Проміжними продуктами ланцюгової реакції окиснення є не цілі молекули, а вільні радикали й атоми, називані “активними центрами” (ОН, Н, О, НО₂, Н₂О₂ та ін.). Критерій рівня запобіжності ВР при ланцюговому механізмі спалахування – наявність у продуктах вибуху негативних каталізаторів (інгібіторів). Їх дія зводиться до руйнування “активних центрів” (в ос-

новному на поверхні часток) аж до повного припинення реакції окиснення метану, тобто до обриву ланцюга.

4.5. Принципи побудови запобіжних ВР

Встановлені закономірності процесу спалахування горючих газів і аерозолів вибухом дозволили сформулювати основні принципи побудови запобіжних ВР і створити на їхній основі сучасні рецептури стійко детонуючих ВР різних класів.

Перший принцип полягає у зниженні енергії (теплоти) вибуху до заданих меж. При більш високій теплоті гази вибуху мають підвищену температуру, що збільшує імовірність спалахування газопилоповітряної суміші.

Другий принцип передбачає хімічний вплив на газопилоповітряну суміш, тобто її інгібування при змішуванні з розширюваними продуктами вибуху, що розширюються, зменшуючи тим самим імовірність виникнення і розвитку ланцюгової реакції спалахування за рахунок обриву ланцюгів.

Обидва принципи реалізуються введенням до складу сумішевих ВР порошкових речовин з високою хімічною активністю і порівняно високим питомим теплопоглинанням, що одержали назву *полум'ягасників*. Використання ефекту негативних каталізаторів по відношенню до реакції окиснювання метану й інших горючих шахтних газів чи продуктів газифікації вугільного пилу підвищує припустимий рівень енергетичних характеристик ВР (при заданому рівні запобіжності). Найбільш придатними для такої ролі виявилися хлориди у першу чергу лужних металів (NaCl, KCl). Вони знижують температуру вибуху внаслідок поглинання теплоти на своє нагрівання, плавлення і випаровування (кожен відсоток добавки знижує температуру вибуху приблизно на 1,5%). Крім того, ці речовини, перемішуючись з МПС, гальмують спалах метану, виконуючи роль інгібітора. Тонке подрібнювання полум'ягасників підвищує запобіжні властивості ВР, але знижує детонаційну здатність. Крупне подрібнювання дає протилежні результати. Тому полум'ягасник уводять до складу ВР у вигляді гранул розміром 0,5...2 мм з тонкодисперсних часток.

Третій принцип зводиться до застосування як окиснювача аміачної селітри, оскільки під час вибуху, з одного боку, вона виділяє багато газоподібних продуктів ($0,976 \text{ м}^3/\text{кг}$) і тому збільшує працездатність ВР, а з іншого – дає мало теплоти (1400 кДж/кг) і тому має низьку температуру вибуху (1623 К).

Саме на цих трьох принципах створені запобіжні ВР класів III і IV. Розробки в цьому напрямі показали, що, дотримуючись їх, можна надати вибуховій речовині будь-який

рівень запобіжності. Однак введення значної кількості полум'ягасника до складу ВР істотно знижує її працездатність.

Наприклад, ВР: VI класу вугленіт №2 (нітроєфіри – 10%, NH_4NO_3 – 24%, NaCl – 64%) мав працездатність 70 см^3 ; VII класу вугленіт №5 (нітроєфіри – 10%, NH_4NO_3 – 14%, деревне борошно – 1%, NaCl – 75% – 40 см^3 .

Щоб попередити створення високозапобіжних ВР низької ефективності, уведено 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 , а V – не менше 1,03, а VI класу – не менше 0,80 від працездатності вугленіту Е-6, прийнятого за еталон.

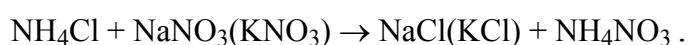
Четвертим принципом є створення такої вибухової системи, при якій тонкодисперсний полум'ягасник утворювався б тільки в процесі її вибухового перетворення. У цьому випадку наявність полум'ягасника в продуктах вибуху не впливає на потенційну теплоту вибуху.

П'ятий принцип – селективної детонації, згідно з яким вибухові механічні суміші повинні являти собою саморегульовані системи: теплота їхнього вибуху змінюється залежно від умов підривання. На практиці селективність детонації забезпечується тим, що ВР створюють із двох складових частин, що різко відрізняються між собою за своєю хімічною активністю (реакційною здатністю): одна (звичайно нітрогліцерин – до 15%) легко детонує за будь-яких умов; інша частина являє собою іонообмінну пару солей, наприклад, суміш натрієвої чи калієвої селітри з хлористим амонієм.

Такий склад ВР призводить до того, що у найнебезпечніших умовах підривання (при торцевому чи бічному оголенні заряду) вибухає тільки нітрогліцерин. Решта ВР відіграє роль полум'ягасника. У результаті виділяється мало теплоти (приблизно 50% розрахункової) і гази вибуху виявляються нагрітими недостатньо для спалахування метану.

Під час вибуху в замкнених умовах виділяється уся потенційна енергія за рахунок вступу в реакцію компонентів з меншою реакційною здатністю, тобто іонообмінної пари солей.

При побудові селективно-детонуючих ВР автоматично реалізується четвертий принцип:



Так, під час вибуху 1 кг вугленіту Е-6 утвориться 317 г хлориду натрію (калію).

За принципом селективної детонації побудовані промислові ВР V...VII класів.

4.6. Визначення запобіжних властивостей ВР

Рівень запобіжності ВР встановлюють тільки експериментально: шляхом запалення метано- і пилоповітряної сумішей зарядами ВР за різних найнебезпечніших умов підривання. Тому вибухові речовини, призначені для шахт, небезпечних щодо газу чи пилу, повинні піддаватися, крім загальних, спеціальним випробуванням на безпеку спалаху. У процесі випробувань штучно відтворюються найбільш небезпечні ситуації, що можливі під час підривних робіт у вугільних шахтах. При цьому, чим вищий клас запобіжності, тим жорсткіші умови випробувань і вищі нормативи рівня запобіжності.

Випробування проводять у дослідному штреху. Кількість дослідів з газом – 20, з пилом – 5. Штрех являє собою сталеву трубу (рис. 4.1) діаметром 1,5...1,8 м і довжиною

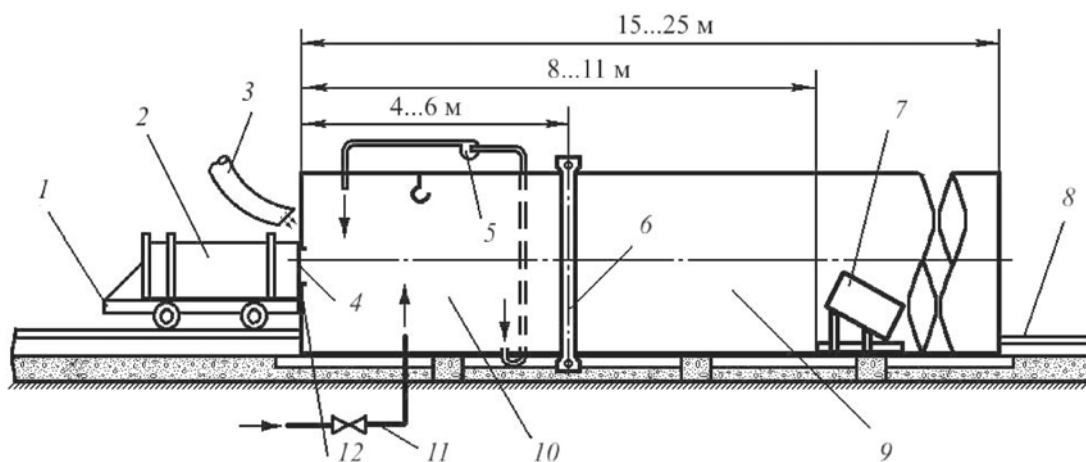


Рис. 4.1. Дослідний штрех:

1 – візок; 2 та 7 – канальна та пилорозпилювальна мортири; 3 та 11 – системи провітрювання та підведення метану; 4 – люк; 5 – змішувач; 6 – штора (діафрагма); 8 – рейкова колія; 9 – сталевая труба; 10 – вибухова камера; 12 – сталеве днище

15...25 м, закриту з одного торця міцним сталевим днищем з отвором діаметром 300...400 мм, до якого співвісно підкочують на спеціальному візку сталеву мортиру (з легированої сталі 20Х, 30Х та ін.) із просвердленим по центру накрізним каналом діаметром 55 мм і завдовжки 1050 мм, що імітує одиничний шпур, яку називають *канальною мортирою*. Стінки її міцні і масивні, що витримують десятки і сотні вибухів.

Дослідний штрех діафрагмою (паперовою чи у вигляді механічного шторного затвора) розділений на дві нерівні частини. Ділянка від днища до діафрагми об'ємом 10 м³ називається *вибуховою камерою*, у якій перед випробуванням створюється метаноповітряна суміш з концентрацією метану близько 9,5% (при вибуху по газу) чи пилоповітряна суміш з концентрацією пилу приблизно 300 г/м³ (при вибуху по пилу).

Рівномірна концентрація метану в суміші забезпечується лопатевою мішалкою, встановленою у вибуховій камері, чи, як показано на рис. 4.1, зовнішнім замкненим вентиля-

ційним пристроєм. Крім того, штрек обладнаний системою примусового провітрювання після вибуху.

Для створення вибухонебезпечної суміші газу з повітрям використовується природний газ зі вмістом метану не менше 90%, етану, бутану, пропану й інших вищих вуглеводнів не більше 8%, вуглекислого газу не більше 1% і при повній відсутності водню. Концентрацію газу у вибуховій камері вимірюють дистанційним електричним газоаналізатором ГЕУК-21 або ГМТ-3, іншими сучасними засобами.

Для приготування у дослідницькому штреку пилоповітряної суміші на відстані 8...11 м від днища (залежно від діаметра штреку) під кутом 20° до горизонту встановлюють пилорозсіювальну мортиру, на дні якої вміщують заряд запобіжної ВР масою 50 г з ЕДКУ-ОП і поверх нього насипають 6 кг вугільного пилу. Розпилення роблять за 6...8 с до вибуху випробуваного заряду. Вугільний пил, який використовується при випробуваннях, повинен містити: 29...35% летких, не більш 9% попелу і не більш 2% вологи.

Цим вимогам у Донбасі відповідає пил пласту m_3 Макіївський. Його просівають через сито з отворами 0,5×0,5 мм. На ситі повинно залишитися не більше 10% наважки. Потім пил просівають через сито з кількістю отворів 6400 на 1 см². Через нього повинно пройти не менше 50% пилу.

Кількісною характеристикою (критерієм) рівня запобіжності ВР є:

гранична (максимальна) маса ВР ($m_{пр}$), під час вибуху якої у заданих умовах випробування відсутнє займання МПС у двадцяти послідовних дослідах (при випробуваннях ВР класів V...VII по газу) чи займанні ППС у п'яти послідовних дослідах (при випробуваннях ВР та усіх класах по пилу);

маса заряду ВР, під час вибуху якої спостерігається 50% запалювань – $m_{(50)}$ (під час випробувань ВР класів III і IV по газу).

Прийнято дві схеми випробування ВР на запобіжність. За першою схемою вибух зарядів ВР виконується у каналній мортирі без набійки – моделюється торцеве оголення заряду (рис. 4.2). Розрізняють такі схеми просторового розміщення випробуваного заряду в каналі мортири: якщо випробуються ВР класів III і IV, заряд досилається до дна каналу, а коли випробуються ВР класів V і VI його розміщують на відстані 50 мм від устя каналу.

Це основний вид випробування, якому підлягають ВР класів III...VI. При підриванні у каналі мортири (заряд ВР без набійки) енергія вибуху буде в основному спрямована на викид (через устя каналу) розпечених продуктів вибуху (суміш газів, часток ВР, ЕД і полум'ягасника). Викинуті продукти вибуху розширюються у вибуховій камері і змішуються з вибуховою метано- чи пилоповітряною сумішшю. Частина їх, здатна до окиснення, догоряє в

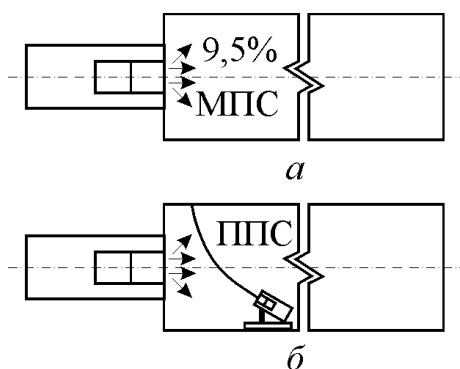


Рис. 4.2. Принципова схема випробування ВР на запобіжність у каналній мортирі щодо газу (а) та пилу (б)

повітрі і створює нове, більш сильне полум'я, ніж те, яке при детонації вирвалося з каналу мортири.

Порядок випробувань. У каналі мортири формують заряд ВР заданої маси. Мортиру на візку підкочують до днища штреку, перекриваючи отвір у ньому. Таким чином канал, а отже, і заряд поєднується з вибуховою камерою. У камері створюють МПС чи ППС і виконують вибух. При одержанні “запалення” заряд зменшують, а “незапалення” збільшують і повторюють дослід. Змінюючи заряд за методом артилерійського пристрілювання (діленням

відхилення навпіл) домагаються “незапалення” при максимально можливому розмірі заряду, що підтверджують двадцятьма чи п'ятьма послідовними вибухами (встановлюють $m_{пр}$), або ж методом “уверх-униз” визначають $m_{(50)}$, тобто заряд, що дає 50% запалень.

За другою схемою випробування заряди ВР підривають у кутиковій мортирі зі сталеву відбивною стінкою, встановлену на відстані 0,6 м від задньої поверхні заряду - моделюється бічне оголення шпурового заряду (рис. 4.3).

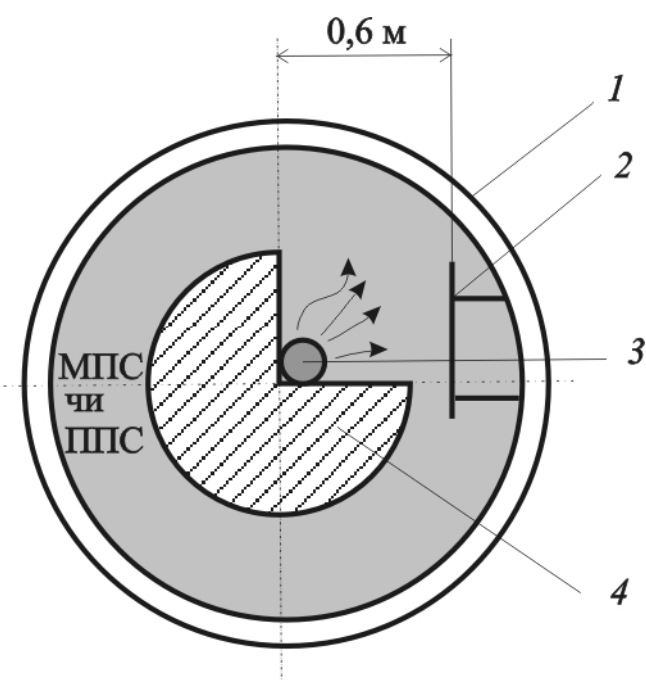


Рис. 4.3. Принципова схема випробування ВР на запобіжність при підриванні у кутиковій мортирі:

1 – дослідний штрек; 2 – відбивна стінка; 3 – кутикова мортира; 4 – заряд ВР

Кутикова мортира являє собою сталевий циліндр із поздовжніми прямокутними пазами, міститься у вибуховій камері дослідного штреку, заповненій стехіометричною МПС чи ППС, паралельно до осі. Патрони ВР поміщають у паз кутикової мортири і підривають.

Аналогічно з попереднім методом встановлюють за методом артилерійського пристрілювання $m_{пр}$ для випробовуваної ВР чи підтверджують її для серійних зразків. ВР вважається запобіжною, якщо при виконанні дослідів не відбудеться запалення метано- і пилоповітряної сумішей від вибуху заряду ВР масою, яка не нижче нормативного значення ($m_{пр}$).

Нормативи із запобіжності, яким повинен задовольняти кожен клас ВР (при прямому ініціюванні), наведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Нормативи за рівнем запобіжності ВР III...VI класів

Клас ВР	Випробування в умовах небезпечних щодо	Норматив, г	
		$m_{(50)}$	$m_{пр}$
При вибуху в каналній мортирі			
III	Газу	175	-
III	Пилу	Не випробується	
IV	Газу	300	-
IV	Пилу	-	700
V	Газу	-	1000
V	Пилу	-	600
VI	Газу	-	1000
VI	Пилу	-	1000
при вибуху в кутиковій мортирі			
III	Не випробується		
IV	Не випробується		
V	Газу	-	100
V	Пилу	-	400
VI	Газу	-	600
VI	Пилу	-	1000

Залежно від виду випробувань на запобіжність, що витримала дана ВР, а також від отриманих значень показників відносять заново розроблену ВР до того чи іншого класу (III...VI).

При випробуваннях серійних ВР, що випускаються серійно, оцінюється якість конкретної партії. Якщо ВР не витримала належний вид випробувань (див. табл. 4.4), партія бракується, а фактичні значення $m_{пр}$ чи $m_{(50)}$ не встановлюють. Поряд зі стандартними проводяться випробування за спеціальними методиками, що моделюють умови застосування ВР VII класу (в окремих випадках V і VI класу) на практиці.

Наприклад, випробують заряди, призначені: для створення запобіжного середовища – шляхом підривання у МПС у вільно підвішеному стані; заряди для перебивання стояків – одночасним підриванням 20 зарядів, розосереджених у вибуховій камері; для розбучування вуглеспускних печей випробовують у кутиковій мортирі з розташуванням відбивної стінки на відстані 200 мм як в'язки (пучка) з декількох патронів і т.д. Норматив: витримувати встановлені нормативними документами умови випробувань, що імітують умови їхнього спеціального застосування.

Таким чином, запобіжність – це відносне поняття. Запобіжні ВР не підпалюють газопилоповітряну суміш тільки при вибуху в суворо визначених умовах, характерних для класу. Тому вибухові речовини, що витримали випробування в дослідному штреку, будуть безпечні при застосуванні їх у шахтах, небезпечних через газ чи пил, лише за таких умов: кожен шпуровий заряд повинен бути достатнім для виконання призначеної йому роботи, але не перебільшеним; у незарядженій частині шпуру повинна бути розміщена набійка; вміст метану в атмосфері вибою і на відстані до 20 м повинен бути менше 1%; вибій, покрівля, стінки і підшва виробки на протязі до 20 м від вибою повинні бути рясно змочені водою з добавкою змочувачів; у привибійному просторі виробки повинна бути створена водорозпилювальна завіса, якщо це регламентується нормативними документами.

4.7. Властивості та рецептура промислових ВР

За основним компонентом у складі ВР промислові вибухові речовини підрозділяються на аміачно-селітрени ВР та ВР, що містять нітроефіри, тобто нітрогліцеринові (нітроєфірні).

4.7.1. Аміачно-селітрени ВР. Це механічні суміші аміачної селітри з іншими вибуховими і невибуховими речовинами. До аміачно-селітрених ВР відносять амоніти, амонали, грамоніти, грануліти, та водонаповнені ВР. Щоб відрізнити один склад від іншого, до назви додають номери чи індекси, наприклад, *амоніт 63В*, *амоніт ПЗВ-20* і т.д.

Амонітами називають механічні суміші аміачної селітри і тротилу чи аміачної селітри і тротилу з деякими іншими вибуховими і невибуховими добавками в порошкоподібному вигляді.

Амонали являють собою механічні суміші на основі аміачної селітри, тротилу й алюмінієвої пудри. Найбільш ефективним представником промислових ВР цієї групи (табл. 4.5) є амонал скельний №1 пресований, який складається з аміачної селітри (66%), тротилу (5%), гексогену (24%), пудри алюмінієвої (5%). Водостійкий, не злежується при зберіганні, надійно детонує. Призначений для прохідницьких робіт у скельних породах ($f < 20$). Працездатність $450...480 \text{ см}^3$, бризантність 22...28 мм.

Амоніти відрізняються порівняно невисокою вартістю, безпечні у використанні. Вони мало чутливі до вогню, тертя й удару (чутливість до удару приблизно 100 см). Швидкість їх детонації залежить не тільки від складу, але і від способу виготовлення і коливається в межах 2400...5100 м/с. Об'єм газоподібних продуктів вибуху $600...1000 \text{ дм}^3/\text{кг}$, теплота ви-

буху 2515...5450 кДж/кг. Температура вибуху: амоніта сірчаного №1 дорівнює 1570, ПЗВ-20 – 2220, Т-19 – 2230, АП-53В – 2520, 63В – 2960 та амоналу скельного №1 – 3520°C.

Таблиця 4.5. Характеристики амонітів і амоналів

Вибухові речовини	Компоненти, %								Працездатність, см ³	Бризантність, мм	Клас	Колір оболонки патрона
	Аміачна селітра	Тротил	Кухонна сіль	Гексоген	Фосфогіпс	Алюмінієва пудра	Кремній	Графіт				
Амоніти: ПЗВ-20	64	16	20	-	-	-	-	-	265	13	IV	Жовтий
Т-19	61	19	20	-	-	-	-	-	270	14	IV	– // –
Ф-5	61	19	15	-	5	-	-	-	265	14	IV	– // –
Т-19 "Г"	61	19	20	-	-	-	-	0,25 (більше 100%)	265	14	IV	– // –
АП-53В	70	18	12	-	-	-	-	-	320	14	III	Синій
63В	79	21	-	-	-	-	-	-	360	14	II	Червоний
ВК-1	79	16	-	-	-	-	5	-	> 360	14	II	– // –
Амонал скельний №1 пресований	66	5	-	24	-	5	-	-	450	28	II	– // –

Амоніти й амонали розділяються на незапобіжні (амоніт 63В, амонал скельний №1 пресований та ін.) і запобіжні (амоніт АП-53В, Т-19*, ПЗВ-20 та ін.). До складу останніх вводять полум'ягасники: кухонну сіль чи хлористий калій. Ці інертні речовини не беруть участі в реакції вибуху, але, поглинаючи частину теплоти, знижують його температуру, чим попереджають вибухи метаноповітряних і пилоповітряних сумішей у виробках.

Властивості амонітів визначаються головним чином властивостями аміачної селітри, якої в амонітах більше 50%.

Амоніти гігроскопічні і легко зволожуються. Якщо амоніти підвищеної вологості, у продуктах вибуху з'являється багато отруйних газів (оксиду вуглецю, оксидів азоту), відбуваються неповні детонації і відкази. Для амонітів, застосовуваних на відкритих розробках, нормами безпеки допускається вологість не більше 1,5%, а на підземних – не більше 0,5%. Вологість амонітів, виготовлених на заводі не повинна перевищувати відповідно 0,5 і 0,2%.

Щоб зменшити гігроскопічність, деякі сорти амонітів виготовляють на основі водостійкої селітри, обробленої гідрофобними речовинами. Таким амонітам привласнюють ін-

*Усі дозволи на використання амоніта Т-19 у вугільних шахтах, небезпечних по газу та пилу надає тільки Держнаглядохоронпраці України (наказ № 130 від 10.10.02).

декс “В” (водостійкий) чи ЗВ (інша буква індексу вказує на назву гідрофобної речовини). Від властивостей аміачної селітри залежить їх схильність до злежування і спікання. Патрони злежаного чи спеченого амоніту тверді на дотик; при підриванні дають неповні вибухи і відкази. Тверді патрони перед уживанням треба розминати руками, доводячи речовину до порошкоподібного стану.

Амоніти, що містять деяку кількість соснової кори, моху чи деревного борошна, менше піддаються злежуванню. Ці речовини, знаходячись між зернами аміачної селітри, перешкоджають росту її кристалів і відіграють роль розпушувачів. Разом з тим вони беруть участь у реакції вибуху і збільшують його енергію. Тротил (як і інші нітропохідні ароматичного ряду) уводять до складу амонітів для збільшення енергії вибуху і підвищення чутливості до початкового імпульсу.

Амоніти й амонали для підземних робіт випускаються у порошкоподібному чи пресованому вигляді тільки патроновані. Щільність патрунування порошкоподібних амонітів $1...1,15 \text{ кг/дм}^3$, діаметр патронів 32 і 36 мм. За особливим замовленням передбачений випуск патронів інших діаметрів. Маса патронів стандартних діаметрів від 200 до 300 г. Патрони пресованого амоналу мають діаметр 36 і 45 мм, щільність патрунування – $1,45... 1,5 \text{ кг/дм}^3$.

Гільзи патронів роблять з пергаментного паперу. Патрони парафінують і упаковують у пачки по 10 шт. Пачки загортають у пергаментний папір, парафінують і укладають у дерев'яні ящики по 30 кг. На гільзах патронів проставляють фабричне тавро з позначенням найменування заводу, типу ВР, маси патрона і маркувальний номер. Колір гільзи (чи клейма) повинен відповідати класу ВР.

4.7.2. Нітроефірні (нітрогліцеринові) ВР. Так ці ВР називаються тому, що одним з основних компонентів у їх складі є нітрогліцерин. Розрізняють високо- і низькопроцентні нітроефірні ВР. До першої групи відносять динаміти (желатиноподібні ВР із великою концентрацією рідких нітроефірів понад 50%), а до другої – детоніти (низькопроцентні нітрогліцеринові ВР, що містять до 10% нітроефірів і мають вигляд жирного порошку сріблясто-сірого кольору) і вугленіти (запобіжні напівпластичні селективно детонуючі ВР, що містять до 15% слабжелатинованих нітроефірів).

Перша група ВР досить велика, але через небезпеку у використанні має дуже обмежене застосування. Тому розглянемо тільки 62%-вий динаміт труднозамерзаючий, що у свій час мав надзвичайно широке поширення в гірничій справі. Це потрібно у зв'язку з тим, що властивості характерні у значної мірі для усіх типів нітроефірних ВР. Склад 62%-відсоткового динаміту: нітрогліцерин – 37, нітрогліколь – 25, калієва селітра – 32, колоїдна бавовна – 3,5, деревне борошно – 2,5%.

Переваги – висока працездатність (380 см^3), бризантність (18 мм) і водостійкість. Недоліки – замерзання, ексудація, старіння. Температура замерзання дорівнює -20°C . Замерзлий динаміт дуже небезпечний у використанні. Ще небезпечніший напівзамерзлий чи напіввідталий динаміт. Тому робота з замерзлим динамітом забороняється до повного відтавання.

Ексудацією називається виділення з динаміту рідких компонентів (нітрогліцерину і нітрогліколю). Вона відбувається у випадках тривалого зберігання, при зберіганні в умовах підвищеної температури, а також неякісного виготовлення. Ексудуючий динаміт небезпечний у використанні такою ж мірою, як і нітрогліцерин. Тому він підлягає негайному знищенню.

Старіння динаміту відбувається через тривале зберігання внаслідок поганої якості виготовлення. При старінні з динамітного тіста зникають пухирці повітря, щільність його підвищується, а детонаційні властивості погіршуються (швидкість детонації знижується з 5000 до 600...800 м/с). Такий динаміт також підлягає знищенню.

Друга група нітроефірних ВР, які виготовляються у нашій країні, представлена незапобіжним (детоніт М) і запобіжними (вугленіти) вибуховими речовинами.

Склад детоніта М: аміачна селітра – 78, нітроефіри – 10, алюмінієва пудра – 10,7, стеарит кальцію чи цинку – 1, калодіодна бавовна – 0,3, сода кальцинована (понад 100%) – 0,2...0,3, мастило машинне (понад 100%) – 0,2...0,3%. Детоніт М за потужністю не поступається динамітам, за умовами зберігання і транспортування прирівнюється до амонітів, у використанні він трохи небезпечніший за них. Працездатність дорівнює 460 см^3 , бризантність – 18 мм. Оболонки патронів фарбують у червоний колір – детоніт М належить до II класу (див. табл. 4.1).

Група запобіжних низькопроцентних нітрогліцерінових ВР представлена вугленітами (табл. 4.6). До їх складу входить велика кількість іонообмінних солей (невибухових речовин): натрієвої селітри і хлористого амонію. Ці речовини за нормальних умов не взаємодіють. Але оскільки у вугленіти уведено 11...14% нітроефірів, то під час вибуху у замкнутому шпурі створюються сприятливі умови (підвищуються температура і тиск), щоб натрієва селітра і хлористий амоній вступили у хімічну реакцію обміну, що супроводжується виділенням інертних газів і пилоподібної інертної солі за реакцією



Надлишковий кисень окисняє горючі компоненти деревного борошна. Вугленіти мають добрі детонаційні властивості, їхня працездатність дорівнює $125...180 \text{ см}^3$. Вільно підвішені патрони масою 200 г під час вибуху не викликають спалаху метано- і пилоповітряної сумішей. Однак ці ВР мало водостійкі.

Вугленіт 12ЦБ має підвищену схильність до підпалювання, особливо у вугільних вибоях (у процесі застосування спостерігалися масові вигорання). Для уникнення цього недоліку розроблені і допущені до постійного застосування високозапобіжні патрони П12ЦБ-2/2 (П12ЦБ-2м), віднесені до VI класу. Вони являють собою одностінну міцну поліетиленову оболонку, запатроновану вугленітом 12ЦБ, масою 300 г. Патрони обладнані стикувальним вузлом для запобігання їхнього розсунення у шпурі при груповому підриванні.

Таблиця 4.6. Склад і характеристика вугленітів

Найменування	Е-6	13П	13П/1	10П	12ЦБ
<i>Склад, %</i>					
Нітроєфіри	14	13	13	10,7	12
Натрієва селітра	46,3	36,4	47,7	48	46
Хлорид амонію	29	25	30,3	32	-
Аміачна селітра	-	15	-	-	-
Хлористий натрій	-	-	-	-	5,5
Карбонат кальцію	-	5	5	5	10
Полістирол	-	2,5	1,5	1,5	-
Карбамід	-	-	-	-	23
Стеарат кальцію	1	0,8	0,5	0,5	0,5
Na – сіль КМЦ	-	2	2	2	3
Бавовна калюїдна	0,2	0,3	0,3	0,3	-
<i>Характеристика</i>					
Клас	V	V	V	V	VI
Об'єм газів вибуху, дм ³ /кг	560	655	570	-	-
Теплота вибуху, кДж/кг	2682	2837	2598	-	-
Працездатність, см ³	130...150	150...180	130...145	125...145	-
Передача детонації, см	8...12	16...20	12...16	4	-
Стійкість до вигорання по відношенню до Е-6	1	12,75	19,30	-	<< 1

Група промислових ВР I класу представлена грамонітами, гранулітами та водонаповненими ВР.

Грамоніти – механічні суміші аміачної селітри і тротилу в гранульованому вигляді. Грамоніти 79/21, 50/50В і 30/70В – це ВР, у яких гранули аміачної селітри розміром 2...3 мм закапсульовані в оболонку з тротилу. Ступінь водостійкості їх залежить від рівномірності і товщини тротилового шару на гранулах селітри. Грамоніт 30/70В більш водостійкий, ніж 50/50В. Грамоніт 30/70В у проточній воді може знаходитися до 12...15, а в непроточній до 30 діб без істотного зниження працездатності.

Грануліти – механічні суміші аміачної селітри і горючої добавки (алюмінієвої пудри, деревного борошна, мінерального масла) у гранулах.

Грануліт АС-8 складається з $89\% \pm 1,5\%$ аміачної селітри гранульованої, $8\% \pm 0,8\%$ пудри алюмінієвої та $3\% \pm 0,5\%$ масла мінерального. Це потужна ВР сріблясто-сірого кольору; не злежується, придатна для сухих і зневоднених шпурів і свердловин. Працездатність $410 \dots 430 \text{ см}^3$, бризантність 22...28 мм.

Грануліт АС-4 складається з $91,8\% \pm 1,5\%$ аміачної селітри, $4,0 \pm 0,5\%$ пудри алюмінієвої та $4,2 \pm 0,5\%$ масла мінерального. Це ВР середньої потужності сріблясто-сірого кольору, жирна на дотик, придатна для обводнених свердловин. Працездатність $390 \dots 410 \text{ см}^3$, бризантність 22...26 мм.

Водонаповнені ВР – вибухові суспензії, рідкою фазою в яких є перенасичений водний розчин аміачної селітри, загущений добавками деяких високополімерних речовин до бажаної консистенції, а як тверда фаза можуть бути гранули чи зерна тротилу, алюмінію й інші горючі невибухові речовини.

Водонаповнені ВР пластичної консистенції називають *акванітами*, а текучі – *акватолами*.

4.7.3. Інші вибухові речовини. *Хлоратні і перхлоратні ВР* виготовляють на основі солей хлорноватої і хлорної кислот з добавкою нітропохідних ароматичного ряду, нітрогліцерину і деревного борошна. Вони мають порівняно невисоку здатність до детонації, але більш чутливі до механічних впливів, ніж амоніти. У нашій країні ці ВР майже не застосовуються.

Порохи можна розділити на дві групи: механічні суміші і колоїдного типу.

Чорний димний порох – механічна суміш калійної селітри (75%), деревного вугілля (15%) і сірки (10%). Має обмежене застосування при відкритих підривних роботах у гірничій промисловості. Відрізняється відсутністю бризантних властивостей, невеликою швидкістю вибуху ($100 \dots 300 \text{ м/с}$) і застосовується лише під час видобутку крупних монолітів (мармуру, граніту) для скульптурних виробів. Чутливий до тертя, удару й іскри і вимагає обережного поводження.

Порохи колоїдного типу (піроксилінові порохи) для підривних робіт використовують порівняно рідко. Їх іноді застосовують при методі підривних робіт свердловинними зарядами. При заряджанні свердловин піроксиліновий порох змішують з насиченим розчином аміачної селітри. Це робить порох безпечнішим у поводженні і спрощує техніку заряджання, крім того, підвищує бризантність і енергію вибуху.

На Донецькому казенному заводі хімічних виробів розроблений монозаряд шпуровий запобіжний “*Енергіт*”, призначений для виконання підривних робіт у шахтах усіх категорій по газу. Відповідає вимогам, які пред’являються до ВР класу V. Заряди у шпурі з’днуються за допомогою замка. Модифікації дозволяють проводити як поодинокі, так і групове зарядження шпурів

Крім того, на тому ж заводі розроблений заряд накладний запобіжний “*Енергіт*”, призначений для руйнування негабаритів у шахтах усіх категорій по газу. Відповідає вимогам, які пред’являються до ВР класу VII. Виконаний у полімерних оболонках.

Глава 5

Способи підривання і засоби ініціювання промислових ВР

Процес збудження детонації промислових ВР від зовнішнього, переважно теплового, впливу (початкового імпульсу) називається *ініціюванням*.

Засіб, за допомогою якого передається початковий імпульс вибуховій речовині і здійснюється збудження його детонації, називається *засобом ініціювання (ЗІ)*.

Спосіб підривання – сукупність прийомів підривання зарядів ВР у заданій послідовності й у заданий момент часу з використанням засобів, що забезпечують безпеку вибуху.

Засобами підривання називають сукупність засобів ініціювання і приладів для підривання промислових ВР.

Розрізняють наступні способи підривання: вогневий, електричний, електровогневий, бескапсульний та система підривання Нонель.

5.1. Вогневе підривання

Вогневе підривання – це спосіб підривання за допомогою капсуля-детонатора (КД) й вогнепровідного шнура (ВШ) із застосуванням засобів його підпалювання. Початковим імпульсом служить зовнішнє полум'я від горіння того чи іншого засобу запалювання.

Вогневе підривання відрізняється простотою, дешевизною і достатньою ефективністю дії зарядів. Недолік – у підвищеній небезпеці робіт, ніж при електропідриванні чи при підриванні детонувальним шнуром. Тому його дозволяється застосовувати лише на земній поверхні (на відкритих роботах).

Підричник може виходити з укриття через 5 хв після останнього вибуху. Якщо підричник не рахував вибухів чи порахував не усі вибухи, тоді вихід з укриття дозволяється не раніше, ніж через 15 хв після останнього вибуху.

5.1.1. Капсуль-детонатор. Складається з гільзи з кумулятивною виїмкою у донній частині, чашечки, первинної (ініціювальної) ВР і вторинної (бризантної) ВР (рис. 5.1). Вільна від ВР частина гільзи називається дульком. Як первинну (ініціювальну) застосовують гримучу ртуть (0,5 г), як вторинну ВР у даний час застосовують гексоген (1 г). Довжина гільзи 50 мм, діаметр 7,2 мм. Застосовують капсулі-детонатори № 8Б – з паперо-

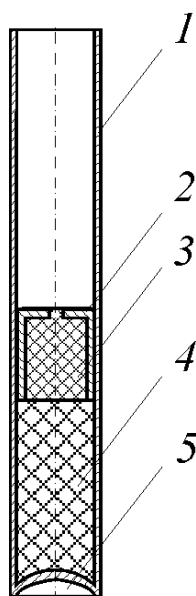


Рис. 5.1. Капсуль- детонатор:

1 – гільза; 2 – чашечка; 3 і 4 – первинна і вторинна ВР; 5 – кумулятивна виїмка

заданого часу) і запалювання первинної вибухової речовини у КД. Має серцевину з дрібнозернистого чорного (димного) порошу з центральною направляючою ниткою і два - три обплетення з лляних чи бавовняних ниток, намотаних у протилежних напрямках (рис. 5.2). Нитяні обплетення покриті (просочені) водо- чи вологонепроникаючою масою.

До застосування при підривних роботах допущені наступні види вогнепровідного шнура: асфальтований (ВША) – для робіт у вологих і сухих вибоях, подвійний асфальтований (ВШДА) – у мокрих вибоях, пластикатовий (ВШП) – у вибоях, покритих водою.

Зовнішній діаметр шнура – 5...6 мм, швидкість горіння дорівнює 1 см у секунду. Шнури випускаються відрізками по 10 м, згорнутими у круги діаметром 15...25 см. Кола по 25 шт. збирають у бухти й обгортають у пергаментний папір. Ці бухти по 8 або 4 шт. (тільки ВШП) упаковують у дерев'яні ящики.

вою гільзою, № 8М – з мідною гільзою і № 8С – з біметалічною чи сталевую воронованою гільзами (алюмінієву гільзу застосовувати заборонено, оскільки утворюються вибухові з'єднання – фульмінати).

Первинну ВР перед налаштуванням у КД запресовують у металеву чашечку з отвором у центрі діаметром 2...2,5 мм, закритим шовковою сіточкою, що миттєво згоряє від променя вогню.

Капсуль-детонатор вибухає від удару, іскри, полум'я, тертя. Тому при поводженні з ними необхідно дотримуватись великої обережності (не можна кидати чи ударяти будь-якими предметами).

5.1.2. Вогнепровідний шнур. Призначений для

надійної і безпечної передачі полум'я (променя вогню) на потрібну відстань (протягом

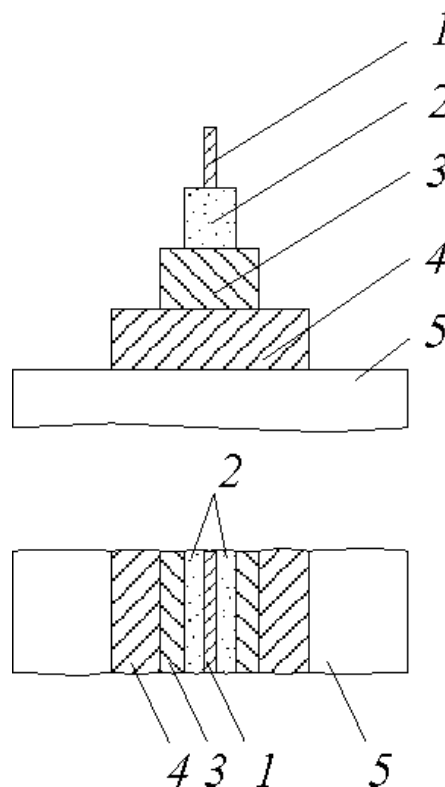


Рис. 5.2. Вогнепровідний шнур ВШП:

1 – спрямовуюча нитка; 2 – порохова серцевина; 3 і 4 – нитяні обплетення; 5 – пластикова оболонка

У випадку порушення технологічного режиму під час виготовлення шнур буде мати дефекти. Переушільнення порохової серцевини викликає уповільнення горіння, пухка серцевина горить з більшою швидкістю, при розривах у ній відбувається загасання чи значне уповільнення горіння. Через те що подібні дефекти можуть викликати нещасні випадки, шнур треба випробовувати на швидкість, повноту і рівномірність горіння, а також оглядати ззовні.

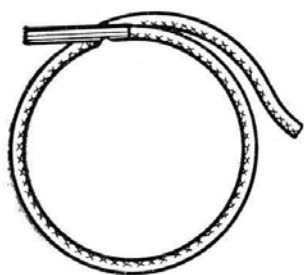


Рис. 5.3. Запальовальна (вибухова) трубка

5.1.3 Запальовальна трубка. Це капсуль-детонатор із введеним у нього відрізком

вогнепровідного шнура (рис. 5.3), довжина якого встановлюється, виходячи з наступного. Шнур повинен виходити зі шнуру не менше ніж на 10...15 см, щоб зручно було підпалювати і тривалість його горіння забезпечила підривнику можливість підпалити усі шнури у вибої і піти до місця укриття до вибуху першого заряду. Незалежно від розрахунків довжина відрізка найкоротшого шнура повинна бути за вимогою Правил безпеки не менше 1 м.

5.1.4. Контрольна трубка. Вона має такий же пристрій, як і запальна трубка.

Служить для контролю часу. Довжина шнура в ній на 60 см коротша за найкоротший у вибійному комплекті шнура запальовальної трубки, і запалюють її першою; як тільки вона згорить, підривник повинен відійти в укриття. Її роль може виконувати контрольний шнур (без КД).

5.1.5. Засоби запалювання ВШ. Запальовальний гніт складається з бавовняної чи

лляної серцевини, просоченої розчином калієвої селітри, покритої зверху обплетенням із кручених бавовняних ниток. Діаметр гніту 6...8 мм. Він легко загоряється від сірника і жевріє зі швидкістю 10...20 мм/хв.

Гніт відрізками по 5 м звертають у круги. Бухти по п'ять кругів у кожній, обгорнені у папір, упаковують у дерев'яні ящики по 8 шт. Гніт дуже зручний у роботі і добре підпалює вогнепровідний шнур, особливо якщо він надрізаний у кінця, що підпалюється.

Запальовальний патрон призначений для одночасного підпалювання декількох запальовальних трубок. Він являє собою відкриту з одного кінця гільзу завдовжки 5...10 см і діаметром 2...4 см (залежно від кількості шнурів, що вводяться в патрон) із щільного парафінованого паперу. На дні її знаходиться тонкий шар (2...3 мм) запальовальної суміші (85%

дрібнозернистого пороху, 5% каніфолі і 10% парафіну), що горить рівним полум'ям, без спалахів.

Запалювальні патрони застосовують при більшій кількості шпурів, якщо вони розташовані близько один до одного. Кінці трубок, які виходять з декількох сусідніх шпурів, збирають у пучок і вставляють у запальний патрон. Щоб запалити патрон, в нього вставляють відрізок ВШ завдовжки 15...25 см. Гільзу патрона закріплюють на пучку шпагатом.

Сірником дозволяється запалювати ВШ лише при підіриванні поодиноких зарядів.

Як засіб запалювання може використовуватися відрізок ВШ, довжина якого на 60 см коротша найкоротшої запальної трубки. Через кожні 2...3 см у ньому зроблені косі надрізи на глибину $\frac{2}{3}$ його діаметра. В разі горіння з надрізаного місця викидається сніп іскор, який легко запалює шнур запалювальної трубки.

5.1.6 Виготовлення патрона-бойовика. Запалювальні трубки виготовляють у спеціальному приміщенні, розташованому поблизу видаткового складу ВМ. При виготовленні запальних трубок, уникаючи різких його перегинів, ВШ розгортають, і розрізають на відрізки необхідної довжини, але не менше 1 м. На відстані 2 см від кінця, що підпалюється, роблять косий надріз на глибину $\frac{2}{3}$ діаметра шнура. Другий кінець відрізка ВШ вводять у дулько капсуля-детонатора до зіткнення з чашечкою. Капсуль-детонатор з металевою гільзою біля самого кінця дулка обжискають навколо шнура щипцями-обтискачами чи спеціальними приладами. Якщо гільза паперова, місце з'єднання шнура і капсуля-детонатора обмотують прогумованою стрічкою чи туго обв'язують шпагатом. Наявність чашечки у КД зменшує небезпеку при введенні у гільзу ВШ у процесі виготовлення запалювальної трубки.

Запалювальну трубку вставляють у патрон і закріплюють у ньому. Такий патрон

називається *бойовим* чи *патроном-бойовиком*. Безпосередньо перед заряджанням шпурів з одного із торців патрона розгортають паперову оболонку і дерев'яним стрижнем (наколкою) роблять поглиблення (рис. 5.4, а), розміри якого повинні відповідати розмірам капсуля-детонатора. У це поглиблення вводять капсуль-детонатор запалювальної трубки (рис. 5.4, б). Потім кінці паперової оболонки обертають навколо ВШ (рис. 5.4, в) і обв'язують шпагатом (рис. 5.4, г).

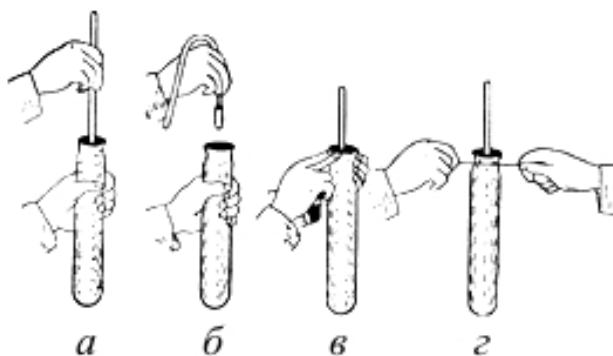


Рис. 5.4. Порядок виготовлення бойового патрона (патрона-бойовика) при вогневому підіриванні

5.2. Електричне підривання

На даний час – це єдиний допущений у вугільних шахтах спосіб підривання шпурових і свердловинних зарядів ВР. Електропідривання безпечніше за вогневе, оскільки воно дозволяє підривати більше зарядів і може застосовуватися за будь-яких умов ведення підривних робіт, включаючи шахти, небезпечні щодо газу і пилу, і важкодоступні об'єкти. Крім того, переваги полягають у відсутності шкідливих газів, які виділяються під час горіння ВШ, у виробництві підривання з любых відстаней, у забезпеченні одночасного підривання зарядів, а також з інтервалами по серіях, тощо. Недоліки цього способу підривання у складності підготовки електромереж, у зрощенні проводів, у небезпеці при ліквідації невибухлих зарядів і вибуху від блукаючих струмів, і відносно високій вартості засобів підривання.

Електричне підривання – спосіб підривання за допомогою електродетонаторів, включених у електропідривну мережу. Сукупність електродетонаторів із проводами, що з'єднують їх між собою, і джерелом струму називається *електропідривною мережею*. Початковим імпульсом є електричний струм. До приладів електричного підривання належать вибухові машинки і прилади, а також контрольно-вимірювальні прилади. У систему електропідривання входять вибухові проводи чи кабелі і з'єднувальна арматура.

Розглянемо конструкції електродетонаторів та інші питання електропідривання.

5.2.1. Електродетонатори. За часом спрацьовування після подачі електричного імпульсу у підривну мережу виділяють: електродетонатори миттєвої, короткоуповільненої й уповільненої дії.

Електродетонатор миттєвої дії (рис. 5.5, *а*) являє собою капсуль-детонатор із закріпленим у ньому (у дулко гільзи) електрозапальником (ЕЗ), що має таку будову (рис. 5.6). Два ізольованих проводи (мідні, рідше залізні чи біметалеві) довжиною 2...4 м і діаметром 0,5...0,6 мм, звиті разом на довжину 5...10 см. Кінці їх на 5...10 мм очищені від ізоляції і розведені у вигляді вилочки, до кінців якої припаяний металевий місток розжарювання завдовжки 2...4 мм діаметром 30...35 мк із ніхрому (сплаву нікелю з хромом). Кріплення містка до проводів може бути еластичним (рис. 5.6, *а*) і жорстким (рис. 5.6, *б*). Місток і частина зачищеної вилочки покриті легкозаймистою твердою речовиною, що охоплює їх у вигляді великої твердої краплі (запалювальної голівки). Характеристика електродетонаторів наведена у табл. 5.1.

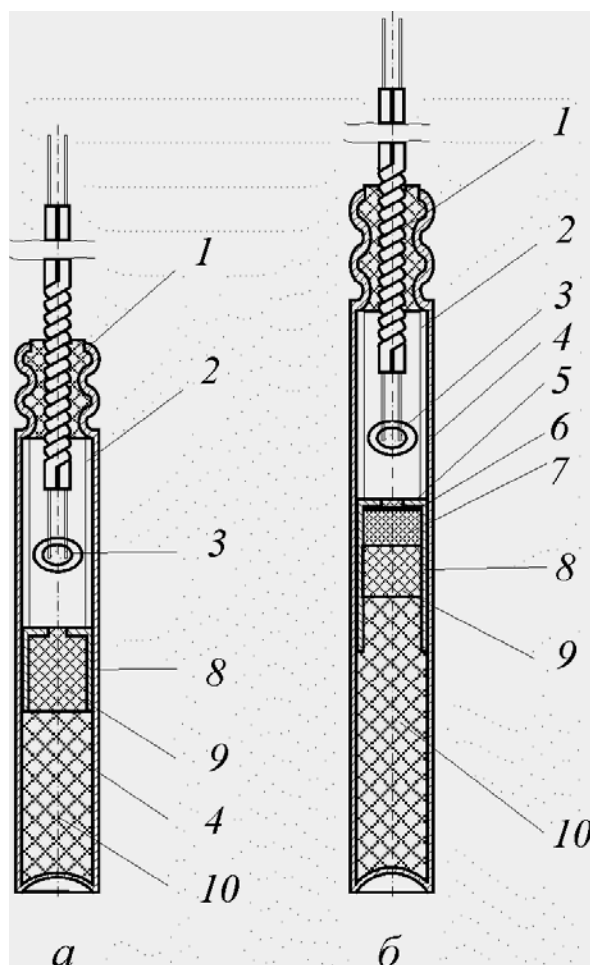


Рис. 5.5. Конструкція електродетонаторів:

а – миттєвої дії; *б* – короткоуповільненої та уповільненої дії;

1 – пластикатова пробка; 2 – антистатичний екран; 3 – електрозапальник; 4 – гільза; 5 – шовкова сітка; 6 і 7 – запалювальний і уповільнюючий склади; 8 – чашечка; 9 і 10 – первина і вторинна ВР

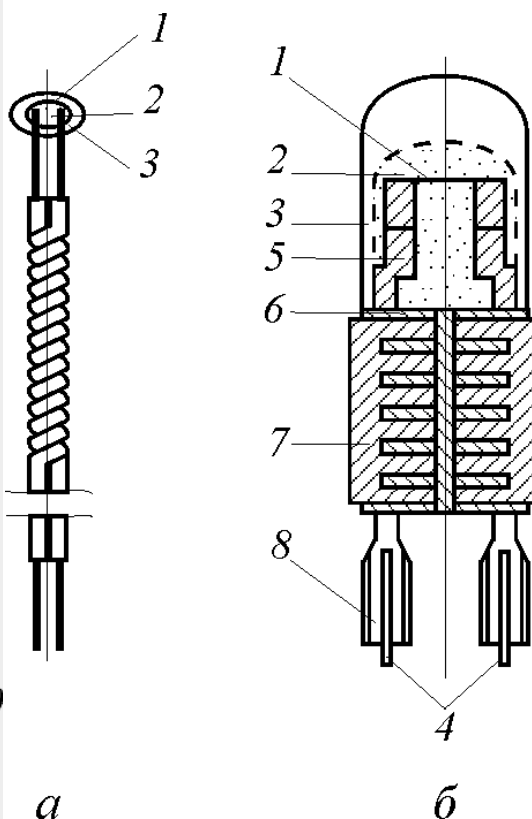


Рис 5.6. Електрозапальники з кріпленням містка до проводів:

а – еластичним; *б* – жорстким;

1 – місток; 2 і 3 – внутрішній і зовнішній шари штабок запалювальної голівки; 4 – провода; 5 – латунні штабки; 6 – ізолювальний кріпильний картон; 7 – латунна обтискна скоба; 8 – ніжки латунних штабок

Електрозапальник (ЕЗ) закріплюється у дулку капсуля-детонатора пластикатовою пробкою й обтисненням гільзи. Коли по проводах пропускається струм, місток розжарюється і запалює голівку. Її полум'я майже миттєво викликає вибух первинної ВР, що збуджує детонацію вторинної ВР. Запалювальна голівка двошарова. Перший шар: суміш роданистого свинцю (50 масових частин), бертолетової солі (50 частин), свинцевого сурику (1 частина) і речовини, що склеює, – 4%-го нітролаку. Другий шар: суміш бертолетової солі (78 масових частин), деревного вугілля (22 частини) і речовини, що склеює, 26%-го водяного розчину столярного клею. Запалювальну голівку покривають нітролаком.

Таблиця 5.1. Типи електродетонаторів та інтервали уповільнення

Тип ЕД	Інтервал уповільнення між серіями, мс	Уповільнення з максимальними відхиленнями (час спрацювання), мс	Колір забарвлення придонної ділянки гільзи
ЕД-8е	-	Миттєве	Не фарбується
ЕД-8ж	-	Миттєве	– // –
ЕДКУ – ОП	-	4 ± 2	– // –
ЕДКУ - 13П	15	15 ± 7	Чорний
ЕДКУ - 23П	15	30 ± 7	Червоний
ЕДКУ - 33П	15	45 ± 7	Не фарбується
ЕДКУ - 43П	15	60 ± 7	Зелений
ЕДКУ - 53П	20	80 ± 10	Жовтий
ЕДКУ - 63П	20	100 ± 10	Білий
ЕДКУ - 73П	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

П р и м і т к а. Довжина ділянки гільзи, що забарвлена у ЕДУД 13, 14, 15 дорівнює 10...15 мм, а на всіх інших електродетонаторах – 5...7 мм.

Завдяки надійній герметизації гільзи у електродетонаторі як первинна ВР застосована безпечніша ініціювальна ВР, яка погано пресується – азид свинцю (у КД це небезпечно, оскільки азид свинцю буде просипатися), покритий (з боку електрозапальника) шаром ТНРСа (у окремих конструкціях ТНРС відсутній). Як вторинна ВР застосовується гексоген.

Електродетонатори уповільненої дії (рис. 5.5, б) відрізняються від ЕД миттєвої дії тим, що між електрозапальником і первинною ініціювальною ВР вміщений стовпчик уповільнювальної речовини (суміш свинцевого сурику, хромокисненого свинцю і феросіліцію). Час уповільнення залежить від довжини стовпчика сповільнювача, його складу і густини.

При пропусканні струму через групу електродетонаторів з різним уповільненням, з'єднаних послідовно, електрозапальники спалахнуть у них одночасно, а детонатори будуть вибухати з інтервалами, що залежать від ступеня уповільнення.

Електродетонатори уповільненої дії виготовляють з уповільненням 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 4; 6; 8 і 10 с. До проводів ЕД прикріплюється бирка з цифрою, що позначає номер уповільнення. Крім того, кожний ступінь уповільнення електродетонаторів має своє фарбування придонної ділянки гільзи. Суть уповільненого підривання полягає в тому, що підривання окремих зарядів чи окремих груп зарядів виконується у заданій послідовності через визначені проміжки часу (від 0,5 до декількох секунд). Для вугільних шахт допущені електродетонатори з уповільненням до 2 с включно (ЕДУД-7...ЕДУД-11).

Електродетонатори короткоуповільненої дії за конструкцією майже нічим не відрізняються від ЕД уповільненої. Відмінність – у трохи іншому складі другого шару запальної голівки, уповільнювальній речовині та ступенях уповільнення, що дорівнюють тисячним часткам секунди. Запальна голівка двошарова. Склад першого шару такий же, як і в електродетонаторах миттєвої дії, склад другого – свинцевий сурик (90 масових частин) і силікокальцій (10 частин), склеювальна речовина – нітролак. Уповільнювальну речовину виготовляють із суміші свинцевого сурику (окиснювач), силікокальцію і феросиліцію (горючі компоненти). Уповільнювач споряджують так: у подовжену луджену мідну чашечку, отвір якої закривається шовковою сіткою, запресовують уповільнювальну речовину, а поверх неї – декстриновий азид свинцю і тен. У гільзу детонатора запресовують 0,5...0,7 г вторинної ініціювальної ВР, потім додають наважку цієї ж ВР у порошкоподібному стані й запресовують сповільнювач. Після цього у гільзу вміщують електрозапальник із пластикатовою пробкою.

Електродетонатори упаковують у картонні коробки по 40...75 шт., на які наклеюють етикетки із назвою заводу, дати виготовлення, номера партії, типу ЕД, їх кількості і значення опору. Картонні коробки по 10 шт. укладають у цинкову коробку, а останню – у дерев'яний ящик, у якому вміщується від 500 до 1500 електродетонаторів.

За ініціювальною здатністю електродетонатори можна розділити на дві групи. Перша звичайної ініціювальної здатності (нормальної потужності). За цією ознакою прирівнюються до капсуля-детонатора (ЕД-8е, ЕД-8ж, ЕДУД), маса вторинної ВР дорівнює 1 г. Друга – електродетонатори підвищеної ініціювальної здатності (потужніні – ЕДКУ-ЗП), у яких маса вторинної ВР дорівнює 1,45 г. Потужні ЕД безвідмовно підривають (ініціюють) згущені до $1,62 \text{ г/см}^3$ промислові ВР.

За запобіжністю електродетонатори ділять на незапобіжні (ЕД-8е, ЕД-8ж, ЕДУД) – 100%-на ймовірність запалення МПС і ППС і запобіжні (ЕДКУ-ОП, ЕДКУ-ЗП і ЕДКУ-З) –

ймовірність запалення – 4...10%. Запобіжність забезпечується за рахунок покриття зовнішньої поверхні гільзи полум'ягасною речовиною – сірчаноокислим калієм (K_2SO_4). Незапобіжні ЕД дозволяється застосовувати лише для ініціювання ВР I і II класів.

Основні параметри ЕД, крім часу спрацьовування: опір (у ЕД-8е, ЕДКУ-П і ЕДУД – 2...4,2 Ом, а в ЕД-8ж, ЕДКУ-ОП і ЕДКУ-ЗП – 1,8...3 Ом); гарантований струм: якщо ЕД з ніхромовими містками, при підриванні до 100 електродетонаторів постійний струм повинен бути 1 А, а якщо більше 100 – 1,3 А. При підриванні перемінним струмом – не менше 2,5 А; безпечний струм (якщо пропускати струм через ЕД протягом 5 хв вони не спрацьовують) – 0,18 А; імпульс займання (імпульс струму, при якому відбувається вибух ЕД) – 0,6...2 $A^2 \cdot ms$.

Перед видачею підривникам ЕД слід перевірити на провідність чи на омичний опір; кінці вивідних проводів при цій операції повинні бути замкнені накоротко.

5.2.2. Виготовлення патрона-бойовика. Патрони-бойовики (рис. 5.7) роблять

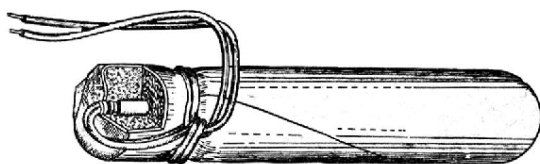


Рис. 5.7. Закріплення ЕД у патроні-бойовику

безпосередньо у вибої. Під час проходки стволів їх дозволяється готувати на поверхні у зарядних будках і спускати у ствол окремо від ВР.

При електричному підриванні порядок виготовлення патронів-

бойовиків наступний: не розгортаючи оболонки, на одному з торців патрона дерев'яною чи з кольорового металу насколкою роблять заглибину, у неї вводять електродетонатор, потім на патрон накидають петлю з детонаторних проводів і обв'язують його. Пресовані ВР поставляють готовими отворами під ЕД.

5.2.3. Електропідривні мережі. Після заряджання шпурів монтують електропідривну мережу. З'єднання електродетонаторів може бути послідовним, паралельним і змішаним.

Послідовне з'єднання – найбільш розповсюджений спосіб підривання зарядів. Розрахунок електропідривних мереж зводиться до визначення сили струму, що надходить у кожен електродетонатор, який не повинен бути менше гарантійного.

За призначенням проводи підрозділяють на детонаторні, вивідні і магістральні. Детонаторними називають проводи, безпосередньо з'єднані з електродетонаторами. Їх опір включають у опір електродетонатора й окремо не враховують. Вивідні проводи застосовуються для з'єднання вибухової мережі, змонтованої у вибої виробки з магістральними прово-

дами. Довжина магістральних проводів визначається відстанню від вибою до безпечного місця, відкіля підривають заряди.

При послідовному з'єднанні електродетонаторів (рис. 5.8) загальний опір вибухової мережі:

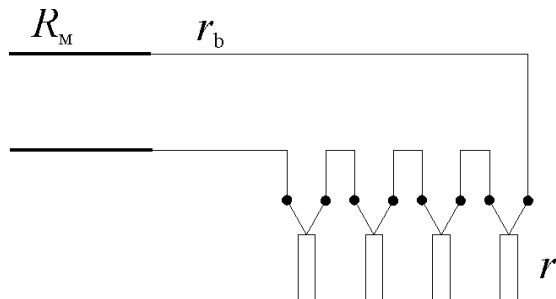


Рис. 5.8. Схема послідовного з'єднання електродетонаторів

$$R_0 = rn + r_b + R_M, \quad (5.1)$$

де r – опір електродетонатора: від 1,5 до 4 Ом, якщо проводи мідні і від 2,9 до 9,5 Ом, якщо залізні;

n – кількість електродетонаторів у мережі;

r_b і R_M – опір вивідних і магістральних проводів, Ом;

Силу струму обчислюють за виразом:

$$I = \frac{U}{R_0} = \frac{U}{rn + r_b + R_M}, \quad (5.2)$$

де U – напруга на клеммах джерела струму, В.

Переваги цієї схеми – у простоті монтажу, легкості контролю за справністю мережі і простота розрахунку. До недоліків слід віднести неможливість одночасного підривання великої кількості зарядів, а також масовий відказ при несправності одного із електродетонаторів.

Паралельне з'єднання має різновиди: паралельно-пучкове і паралельно-ступеневе.

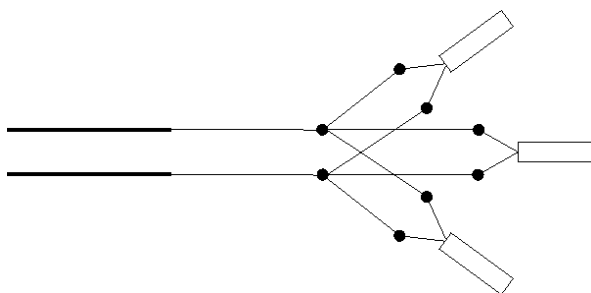


Рис. 5.9. Схема паралельно-пучкового з'єднання електродетонаторів

При паралельно-пучковому з'єднанні (рис. 5.9), силу струму визначають за формулою:

$$I = \frac{U}{R_M + r_b + r/n}, \quad (5.3)$$

а в кожному електродетонаторі:

$$i = I/n, \quad (5.4)$$

де n – кількість електродетонаторів, з'єднаних паралельно.

Якщо електродетонаторів багато і фронт робіт розтягнутий, застосовують паралельно-пучкове дво- і триступеневе з'єднання.

До переваг схеми з паралельним з'єднанням відноситься те, що несправність одного ЕД не спричиняє відказ інших, а обрив якого-небудь проводу призводить до відказу лише одного ЕД.

Паралельно-ступеневе з'єднання електродетонаторів застосовується під час проведення вертикальних стволів шахт, що зумовлено складними умовами (постійний капіж, обводненість вибою, багато шпурів). Розрахунок опору мережі і сили струму при такому з'єднанні великої кількості електродетонаторів складний, а перевірка опору кола і її справності неможлива. Інструментально перевіряється опір магістрального проводу, а також самої мережі в забої контролюється вручну (огляд і підрахування приєднаних електродетонаторів).

Змішане з'єднання буває послідовно-паралельним чи паралельно-послідовним. При послідовно-паралельній схемі електродетонатори у групах з'єднані послідовно (див. рис. 5.8), а групи паралельно приєднані до магістральних проводів (рис. 5.10)

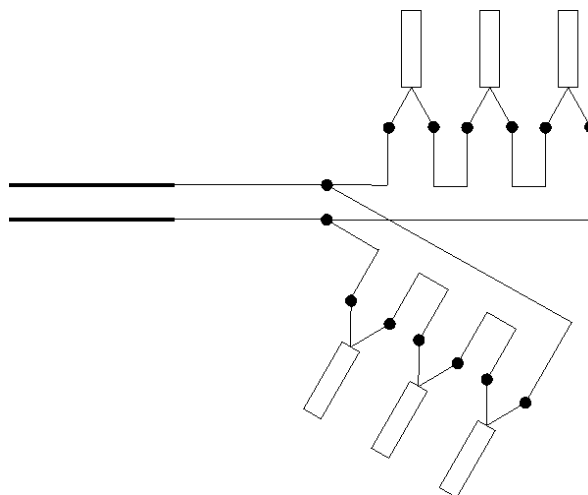


Рис. 5.10. Схема послідовно-паралельного з'єднання електродетонаторів

Послідовно-паралельне з'єднання застосовується при великій кількості ЕД, коли послідовне з'єднання не забезпечує надходження у них визначеного струму.

Якщо число електродетонаторів в окремих групах і їхній опір однакові, тоді

$$I = \frac{U}{R_m + (r_b + r \cdot n) / m}, \quad (5.5)$$

$$i = I / m, \quad (5.6)$$

де n – число послідовно з'єднаних електродетонаторів в одній групі;

m – число груп, паралельно приєднаних до магістральних проводів.

При паралельно-послідовній схемі з'єднання електродетонаторів в групах паралельно-пучкове (див. рис. 5.9), а групи з'єднані між собою послідовно. Ця схема не використовується, бо буває багато відказів.

Приклад. На будівництві метрополітену в м. Донецьку за буровибуховою технологією будуть проводитися дві виробки. В одній виробці передбачено буріння 47 шпурів, в іншій – 150 шпурів. Підібрати вибухові прилади для ініціювання зарядів у цих виробках.

Рішення. Розрахунок для першої виробки. Зважаючи на малу кількість ЕД і як наслідок простоту монтажу, перевірки справності електропідривної мережі, а також надійність у роботі, приймаємо послідовну схему з'єднання електродетонаторів (див. рис. 5.8) і середнє значення величини опору електродетонаторів $r = 4$ Ом, за вивідні – одножильні проводи марки ВП-1, які мають одну мідну жилу діаметром 0,5 мм, полівінілхлоридну ізоляцію. Опір 1 м жили становить 0,1 Ом. Ці проводи будуть прокладатися на відстань до 20 м від вибою. Опір вивідних проводів

$$r_b = 0,1 \cdot 20 \cdot 2 = 4 \text{ Ом.}$$

За магістральні беремо двошкульні проводи марки ВП-2. Вони мають два скручені одножильні мідні проводи діаметром 0,7 мм, різного кольору, у полівінілхлоридній ізоляції. Опір 1 м жили 0,04 Ом. Магістральні проводи будуть прокладатися на відстань 200 м. Опір магістральних проводів

$$R_m = 0,04 \cdot 200 \cdot 2 = 16 \text{ Ом.}$$

Загальний опір електропровідної мережі визначимо за (5.1)

$$R_0 = r \cdot n + r_b + R_m = 4 \cdot 47 + 4 + 16 = 208 \text{ Ом.}$$

Для проведення підривних робіт – вибуховий прилад ПІВ-100м, що дає напругу до 600 В. Визначимо силу струму у колі за формулою (5.2):

$$I = U / R_0 = 600 / 208 = 2,88 \text{ А.}$$

Через кожен електродетонатор буде проходити струм силою $i = I = 2,88$ А. Ця сила струму значно більша за гарантійну силу, $i_r = 1$ А (менше 100 ЕД, якщо струм постійний). Тому підривання зарядів буде безвідмовним.

Розрахунок для другої виробки. Враховуючи велику кількість ЕД, беремо: опори окремих електродетонаторів – 4, опір вивідних проводів – 4 та магістральних проводів – 16 Ом.

Зробимо перевіірочний розрахунок за формулою (5.1) для випадку послідовного з'єднання електродетонаторів у цій виробці:

$$R_0 = r \cdot n + r_b + R_m = 4 \cdot 150 + 4 + 16 = 620 \text{ Ом.}$$

Як і в попередньому випадку, застосуємо вибуховий прилад ПІВ-100М. Сила струму у колі за формулою (5.2): $I = U / R_0 = 600 / 620 = 0,96$ А, що $\ll 1,3$ А (більше 100 ЕД при постійному струмі)

Із розрахунку витікає, що послідовне з'єднання електродетонаторів у цій виробці недопустимо.

Застосуємо послідовно-паралельне з'єднання електродетонаторів (див. рис. 5.10), розділивши їх загальну кількість на дві групи по 75 у кожній. Електродетонатори в кожній групі з'єднаємо послідовно, а групи – паралельно.

Загальний опір при цьому буде

$$R_0 = \frac{r \cdot n + r_b}{m} + R_m = \frac{4 \cdot 75 + 4}{2} + 16 = 168 \text{ Ом.}$$

Сила струму в колі за формулою (5.3): $I = U / R_0 = 600 / 168 = 3,75 \text{ А.}$

Через кожен електродетонатор проходить струм силою, визначеною за формулою (5.4):

$i = I / m = 3,75 / 2 = 1,87 \text{ А}$, що більше за гарантійну силу струму, яка дорівнює 1,3А. Тому підривання зарядів буде безвідмовним.

При різкій зміні температури (на відкритих розробках) розрахунковий опір магістральних проводів корегується температурними коефіцієнтами (зміна опору при нагріванні проводу на 1°C, поділеному на первинний опір $\alpha_{m,a} = 0,004$).

5.2.4. Вимірювальні і контрольні прилади. На видаткових складах ВМ електродетонатори перед видачею майстру-підривномуку повинні перевірятися на цілісність містка розжарювання і відповідність опору встановленим нормами границям, зазначених на пакувальній тарі (на картонних коробках). Крім того, в умовах експлуатації установлюють цілісність і опір вибухового ланцюга.

Для виміру опору детонаторів і підривних мереж застосовують омметри місткового типу, більшість з яких працюють за принципом *омметра вибухових ланцюгів ОВЦ-2* (діаметр приладу 52 мм, довжина 155 мм, маса 0,425 кг). Він знятий з виробництва як морально застарілий, але як і раніше досить широко застосовується у вугільних шахтах. Загальний вигляд приладу наведений на рис. 5.11, а. Електрична схема приладу (рис. 5.11, б) являє собою найпростішу лінійну місткову схему для вимірювання опорів, плечі якої утворені вимірювальним реохордом R_0 (разом з постійними опорами R_1 і R_2), постійними опорами $R_3=10 \text{ Ом}$ і $R_4=90 \text{ Ом}$ і вимірюваним опором R_x . Момент рівноваги встановлюється за індикатором, увімкненим у діагональ моста. Рухомий контакт вимірювального реохорда жорстко зв'язаний з лімбом, шкала якого градуйована від 1 до 50 Ом. Джерело живлення – батарея з двох акумуляторів Д-02 напругою 2,5 в і ємністю 0,2 А·ч. Межа вимірів від 1 до 500 Ом: у першому діапазоні від 1 до 50, у другому діапазоні від 10 до 500 Ом.

Прилад випускається у нормальному рудниковому виконанні. Під час вимірювання опорів від 10 до 500 Ом треба підключити до прищіпок кінці проводів від електропідривної мережі, після чого натиснути кнопку увімкнення, позначену на корпусі й електричній схемі “×10” (при цьому вмикається живлення), і поворотом кільця лімба сумістити стрілку індикатора з нульовим штрихом шкали, потім відпустити кнопку, прочитати показання на

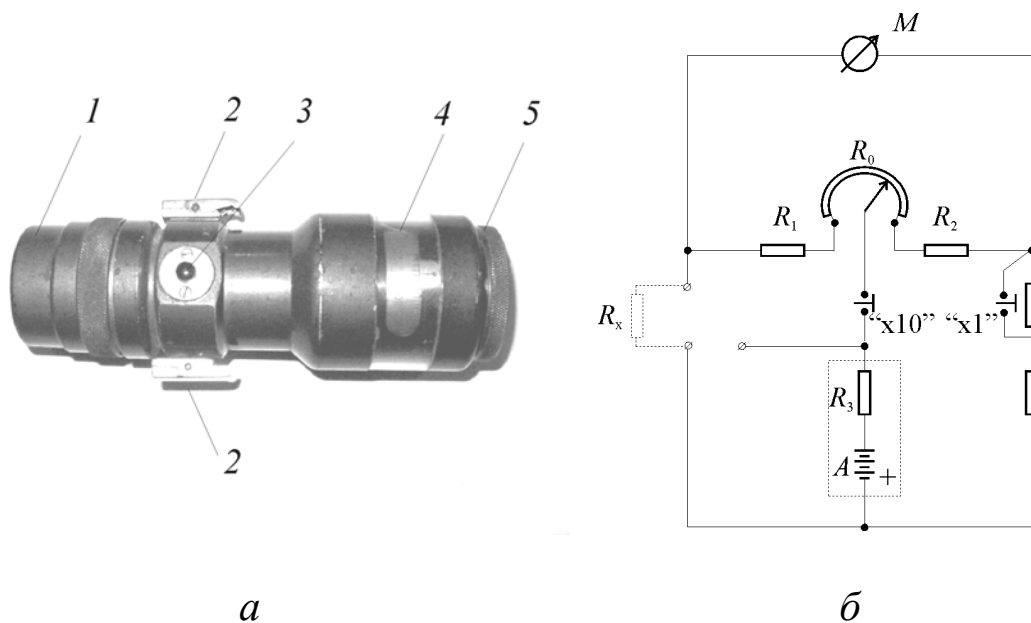


Рис. 5.11. Омметр ОВЦ-2:

a – загальний вигляд; *б* – електрична схема;

1 і 5 – кільце і шкала лімба; 2 – прищіпки; 3 – кнопка увімкнення; 4 – індикатор

шкалі лімба і відлік помножити на 10. Це і буде шуканий опір. При вимірюванні опорів від 1 до 50 Ом необхідно натиснути обидві кнопки включення “ $\times 1$ ” і “ $\times 10$ ”. Натисканням кнопки “ $\times 1$ ” на плечі з постійними опорами R_3 і R_4 більший опір, тобто $R_4=90$ Ом буде шунтований, а у колі залишиться менший опір $R_3=10$ Ом. Натисканням кнопки “ $\times 10$ ” ввімкнеться живлення. Потім поворотом кільця лімба треба сумістити стрілку індикатора з нульовим штрихом шкали, відпустити кнопки ввімкнення і прочитати показання на лімбі. Це і буде шуканий опір.

Міст переносний Р 3043 (рис. 5.12, а) призначений для вимірювання опору електродетонаторів на видатковому складі ВМ, а також вимірювання опору вибухових ланцюгів з укриття у шахтах. У приладі застосована схема одинарного моста постійного струму. На внутрішній кришці наведена схема моста і порядок роботи з вимірювання опору. Міст Р 3043 вміщений у прямокутний металевий корпус, маса його дорівнює 1,6 кг.

Метанометр із вимірником підривного кола ІМС-1 (рис. 5.12, б) призначений для періодичного контролю вмісту метану (до 3%) в рудниковій атмосфері і вимірювання опору підривного кола (з укриття) у шахтах, які розробляють пласти, небезпечні щодо газу і пилу. Визначення концентрації метану засноване на каталітичному його окисненні і вимірюванні теплоти, що виділилася при цьому, з використанням крапкових чутливих низькотемпературних елементів і мостикового методу вимірювання. Для вимірювання опору вибухового кола (від 0 до 20 Ом) застосовується принцип невірноваженого моста, в одне плече якого вмика-

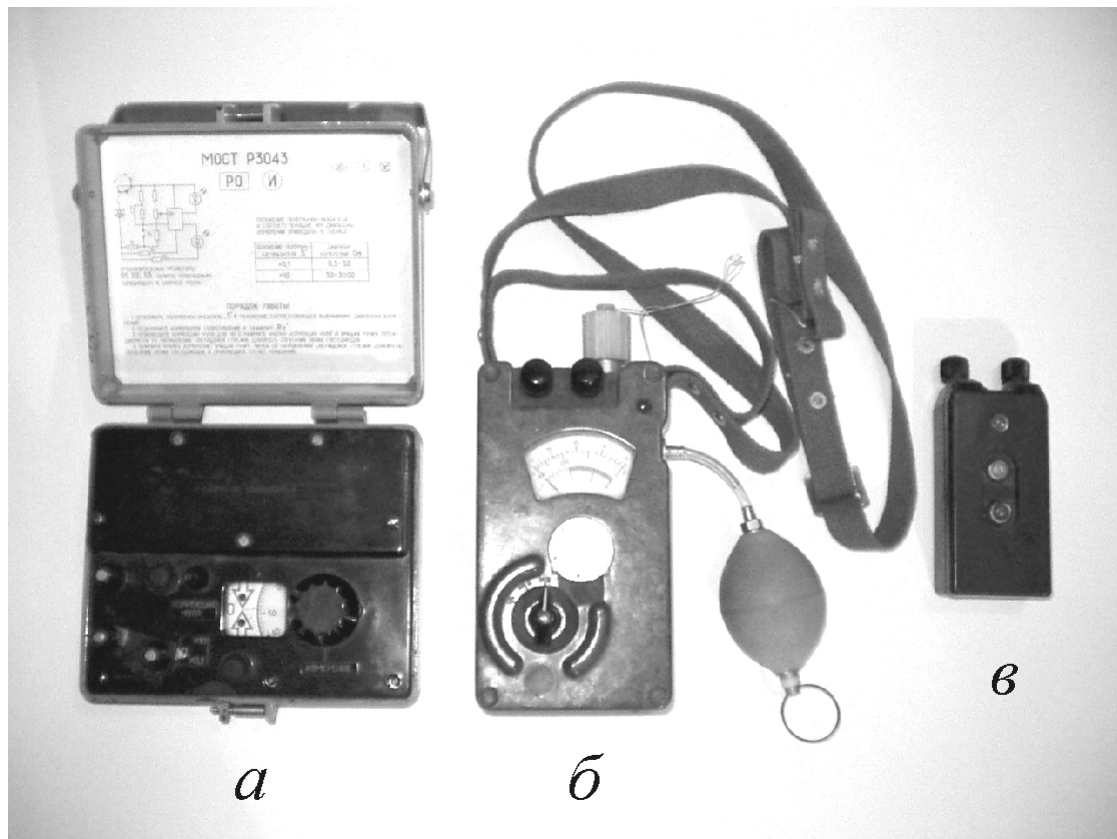


Рис 5.12. Загальний вигляд серійних приладів:

а – міст переносний постійного струму Р 3043; *б* – метанометр з вимірювачем підривного кола ІМС-1; *в* – випробувач підривний світлодіодний ВІС-1

ється підривна мережа. У верхній частині приладу розташований забірний пристрій з антеною і фільтром. З правого боку корпусу прикріплений повітропровід, за допомогою якого через датчик прокачується рудникове повітря. Є три послідовно з'єднаних герметичних нікель-кадмієвих акумулятори Д-0,55. Маса приладу – 1,5 кг.

Випробувач підривний світлодіодний ВІС-1 (рис. 5.12, *в*) призначений для перевірки граничного опору вибухового кола (до 320 Ом) і провідності його окремих елементів при виконанні підривних робіт, у тому числі в умовах шахт, небезпечних щодо газу і пилу. Це єдиний серійний прилад, яким можна користатися безпосередньо у привибійному просторі виробки. ВІС-1 складається з пластмасового корпусу, кришки, електронного блоку з індикатором світлодіодним, блоку живлення, вимикача, двох вихідних клем. Виконання приладу рудникове особливо вибухобезпечне.

Для перевірки справності підривної мережі чи її елементів до клем випробувача приєднують зачищені кінці і натисканням кнопки вмикають. При цілісності мережі чи її елементів і опорі не вище 320 Ом (5%) загоряється світловий індикатор. Тривалість натискання на кнопки не повинна перевищувати 2...4 с. Похибка контролю припустимого опору – 5%, струм короткого замикання на вихідних клеммах не більш 5 А, маса приладу 1,5 кг.

На даний час розроблені нові зразки приладів з цифровою індикацією й автоматичним вибором границь вимірювання (ХН-2570 і АРЕС-ІС-01).

Вимірювач опору підривної мережі ХН-2570 призначений для контролю підривних мереж і окремих детонаторів під час проведення підривних робіт, у тому числі у шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу. Виконаний в удароміцному пластиковому корпусі з антистатичним покриттям, має рудникове особливо вибухонебезпечне виконання, забезпечений захистом типу "Іскробезпечна електрична мережа". Діапазон вимірювань вибирається автоматично.

На окремих шахтах ще користуються омметром Р-353, що працює за тим же принципом, як ОВЦ-2, яким можна вимірювати опори окремих електродетонаторів і електропідривних мереж. Межа вимірів, Ом: "Запал" – 0,2...50, "Лінія" – 20...5000; робоча частина шкали, Ом: "Запал" – 0,3...30, "Лінія" – 30...3000.

Для перевірки опору електродетонаторів у шахтних видаткових складах застосовують уже зняті з виробництва омметри-класифікатори ОКЕД-1 і ОКЕД-2 з границями вимірювання опору 0,5...8,5 Ом. Приклавши кінці проводів детонатора до вивідних контактів приладу, одержують на шкалі відлік опору. Прилад дозволяє дуже швидко виміряти опір великої кількості електродетонаторів і класифікувати їх за опорами.

Для перевірки справності підривних приладів, застосовуваних у шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, призначено *прилад контролю вибухових імпульсів ПКВІ-3м*, за допомогою якого визначають струм і тривалість імпульсу, що посиляється у вибухове коло.

5.2.5. Джерела струму для підривання електродетонаторів. Як джерела струму для підривання електродетонаторів застосовують конденсаторні вибухові прилади.

Конденсаторний підривний прилад КВП-1/100м (рис. 5.13). Призначений для підривання не більше 100 електродетонаторів, з'єднаних послідовно, при загальному опорі підривного кола не більш 320 Ом. Має вибухобезпечне виконання.

Принцип дії наступний. При повороті ключа вліво у положення "Заряд" перемикач *П* ставиться у положення 5-6 і батарея *Б* з'єднується з перетворювачем *ПП* постійного струму в змінний. Генеруючий змінний струм через підвищувальний трансформатор *Тр* і схему подвоєння напруги струму, що складається з двох селенових випрямлячів *ВР* і конденсатора подвоєння напруги *С1* (ємність 0,05 мкФ), йде на конденсатор-нагромаджувач *С2* (ємність 10 мкФ). При досягненні на останньому напруги 600 В спрацьовує розрядник *Л*, подаючи на базу тріода позитивний імпульс ($3 \text{ А}^2 \cdot \text{мс}$), що зриває генерацію струму. Завдяки цьому напруга на конденсаторі-нагромаджувачі стабілізується. Одночасно загоряється неонові лампочка *НЛ*, що сигналізує про готовність приладу до подачі струму у підривну ме-

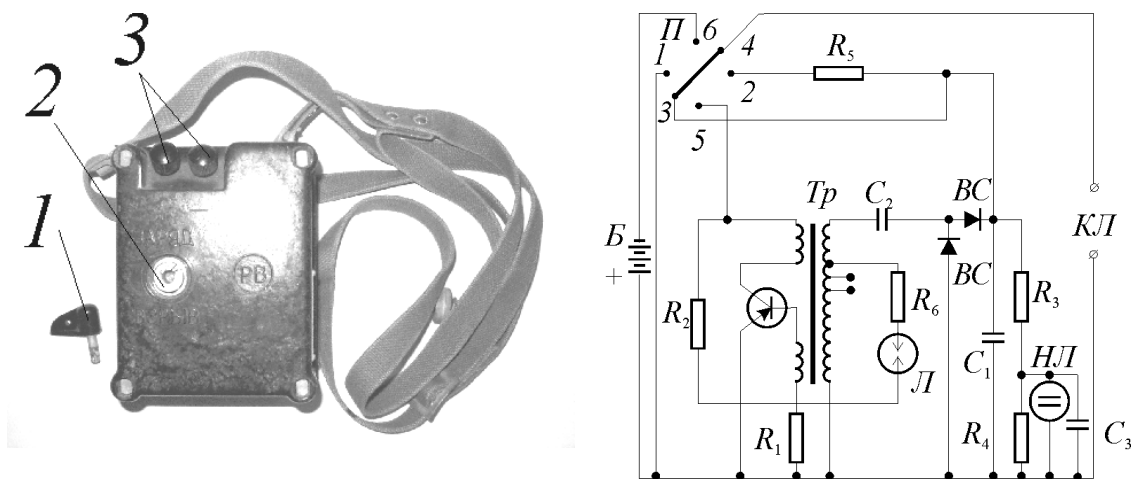


Рис. 5.13. Конденсаторний підливний прилад КВП-1/100м:

а – зовнішній вигляд; *б* – електрична схема;

1 – знімний підливний ключ; *2* – гніздо підливного ключа; *3* – лінійні затискачі

режу. Коли повернути ключ вправо в положення “Вибух”, перемикач *П/П* займає на 2...4 мс положення 3-4, при якому включається у вибуховий ланцюг (затиски *К/Л*), а потім автоматично переходить у положення 1-2, при якому конденсатор-нагромаджувач замикається на розрядний опір R_5 (1 кОм), що знімає залишковий заряд.

Джерело живлення приладу – батарея з трьох елементів “Сатурн”. Якщо напруги живлення 4,8 В, напруга, стабілізована на конденсаторі-нагромаджувачі, не перевищить 650 В, якщо 3,2 В, то не більше 600 В. Неонова лампочка загоряється при напрузі на конденсаторі-нагромаджувачі 590...620 В. Тривалість заряджання приладу до 8 с, маса приладу 2 кг.

Конденсаторний підливний прилад *ПІВ-100м* (рис. 5.14) відрізняється від КВП-1/100м тим, що в його корпусі ще є й омметр місткового типу для вимірювання опору вибухового кола. Омметр живиться від елемента РЦ-75 (ОР-3) чи РЦ-85 (ОР-4). Границі шкали омметра 0...400 Ом, ціна поділки 20 Ом. Точність вимірювання 75...80%. Для контролю підливного кола її підключають до затискачів приладу і повертають важіль за годинниковою стрілкою до упору в положення ІОЦ. Вимірювання виконують у місці укриття. Після цього важіль відводять у вихідне положення і вставляють у гніздо “заряд-вибух” ключ. Ключ повертають проти годинникової стрілки і заряджають конденсатор-нагромаджувач до загорання сигнальної лампочки. Потім різко повертають ключ за годинниковою стрілкою і підривають заряди. Після вибуху ключ виймають і гніздо закривають пробкою.

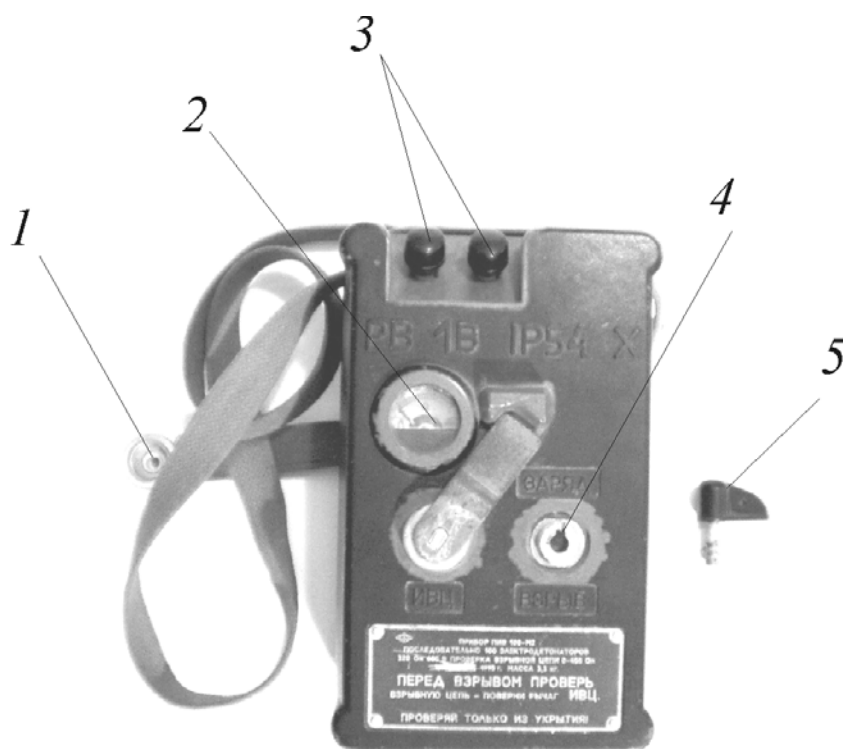


Рис. 5.14. Конденсаторний підливний прилад ПІВ-100м

1 – заглушка; 2 – шкала омметра; 3 – лінійні затискачі; 4 – гніздо підливного ключа; 5 – знімний підливний ключ

Електрична схема і живлення підливного приладу аналогічні прийнятим у приладі КВП-1/100м (див. рис. 5.13, б). Прилад підливає до 100 електродетонаторів, з'єднаних послідовно, при опорі підливного кола не більш 320 Ом. Напруга на конденсаторі-нагромаджувачі дорівнює 600 В. Сигнальна лампочка стійко загоряється, якщо напруга 580...610 В. Імпульс струму $3 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$, тривалість імпульсу 2...4 мс, маса приладу 2,7 кг.

Прилад підливний програмований ЖЗ-2460 призначений для автоматичного подання імпульсу постійного струму для ініціювання електродетонаторів нормальної і зниженої чутливості з попереднім безперервним контролем опору підливної мережі у шахтах, небезпечних щодо газу і пилу, у обводнених забоях.

Конденсаторні підливні прилади DBR-12 і PR-12 (рис 5.15 і 5.16) призначені для ініціювання увімкнених послідовно електродетонаторів у всіх виробках, за винятком виробок у шахтах, небезпечних щодо виділення метану і пилу. Ємність конденсатора дозволяє застосовувати прилад для паралельного увімкнення підливної мережі.

Специфічною особливістю при проходці шахтних стволів є сильна обводненість забоїв стволів і зв'язаних з цим витік струму у підливній мережі. Надійним засобом для запобігання відказів у подібних умовах є застосування паралельно-ступеневих схем поєднання електродетонаторів. Однак для підливання ЕД, з'єднаних за такими схемами, потрібні підри-



Рис 5.15. Конденсаторний підливний прилад DBR-12

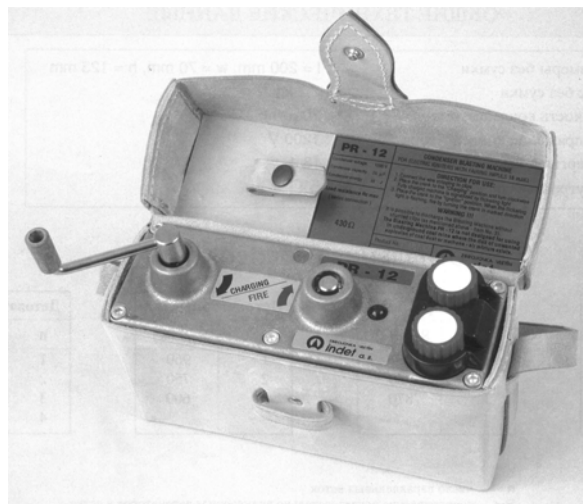


Рис. 5.16. Конденсаторний підливний прилад PR-12

вні прилади з великою енергоємністю джерела електричного імпульсу. ВПС-1 – прилад, який виробляє достатньої сили імпульс для виконання підливних робіт у вертикальних стволах шахт, небезпечних щодо газу і пилу. Його енергоємність майже у 170 разів більше за енергоємність підливного прилада ПІВ-100м.

Струм у підливну мережу подається автоматично (при досягненні в процесі зарядження конденсаторів заданої напруги). Прилад має вибухобезпечне виконання, споряджений пристроєм, який контролює параметри електричного імпульсу на вході прилада.

На відкритих гірничих роботах застосовують *конденсаторні підливні машинки КЗП-1А, КЗП-2 і ВРК-500*. Маса їх відповідно 2,3, 7,8 і 6,5 кг. Від машинки КЗП-1А можна підливати до 100 електродетонаторів при опорі мережі до 300 Ом, від КЗП-2 – до 300 електродетонаторів при опорі мережі до 1000 Ом. Вони забезпечують напругу струму 1500 В. Від ВРК-500 можна підливати до 800 електродетонаторів при опорі мережі до 2000 Ом; напруга струму до 3000 В.

5.3. Електровогневе підливання

При електровогневому підливанні зарядів (табл. 5.2) застосовуються капсулі-детонатори, вогнепровідний шнур, електрозапальвальні патрони і приладдя. Окрім того, до системи входять підливні проводи чи кабелі і з'єднувальна арматура. Початковим імпульсом є електричний струм.

Таблиця 5.2. Типи патронів для підпалювання пучків ВШ при вогневому і електровогневому підриванні

№ патрона	Кількість відрізків ВШ у пучку	Патрони для підривання	
		вогневого	електровогневого
1	7	ЗП - Б1	ЕЗП - Б1
2	8...12	ЗП - Б2	ЕЗП - Б2
3	13...19	ЗП - Б3	ЕЗП - Б3
4	20...27	ЗП - Б4	ЕЗП - Б4
5	28...37	ЗП - Б5	ЕЗП - Б5

Електрозапальний патрон являє собою гільзу з тонкого картону, на дні якої знаходиться шар із суміші порошу, парафіну і каніфолі. У донну частину гільзи вмонтований електрозапальник (рис. 5.17).

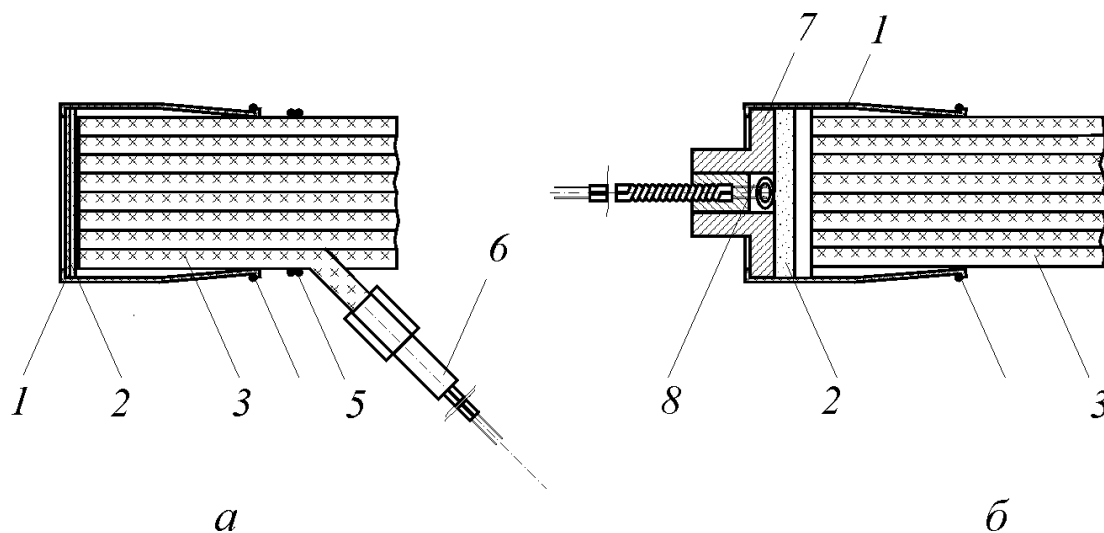


Рис. 5.17. Запальний (а) і електрозапальний (б) патрони для групового підривання:

1 – гільза; 2 – займиста суміш; 3 і 6 – запальна і електрозапальна трубки; 4 – гумове кільце; 5 – шпагат; 7 – втулка; 8 – електрозапальник

При використанні електрозапальних патронів у гільзу вводять шнури запальних трубок, що йдуть з поблизу розташованих шнурів. Гільзу з пучком шнурів щільно обв'язують шпагатом. Провод електрозапальника підключають до магістральних проводів, із укриття включають струм. Спалахує електрозапальник, від його полум'я загоряється займиста суміш, а остання запалює порохові серцевини вогнепровідних шнурів запальних трубок.

Електровогневе підривання здійснюється також у випадку застосування запальних патронів, коли займиста суміш загоряється за допомогою відрізка ВШ, що підпалюється, за допомогою електрозапальної трубки.

Електровогневе підривання можна виконувати у незручних місцях, де неможливий своєчасний відхід підривника в укриття, чи при великій кількості шпурів.

5.4. Бескапсульне підривання

При бескапсульному підриванні заряди ВР ініціюють за допомогою детонувального шнура (ДШ), що складається із серцевини з ініціювальної ВР (тен), двох-трьох обплетень, покритих парафіном і пофарбованих в червоний колір або з двома червоними нитками, що відрізняють його за зовнішнім виглядом від вогнепровідного шнура. Підривання детонувальним шнуром безпечніше за електричне. Застосовується: при підриванні свердловинних і котлових зарядів; у всіх випадках, коли за умовами безпеки (присутність блукаючих струмів) не можна використовувати електропідривання; при підриванні шпурових зарядів по підосві уступу і негабариту.

Детонувальний шнур підривають від капсуля-детонатора або електродетонатора. З цією метою його прив'язують до шнура ізоляційною стрічкою або шпагатом. Для передачі вибуху від одного відрізка шнура до іншого їх зв'язують морським вузлом або внапуск так, щоб шнури стикалися на відстані не менше 10 см (рис. 5.18).

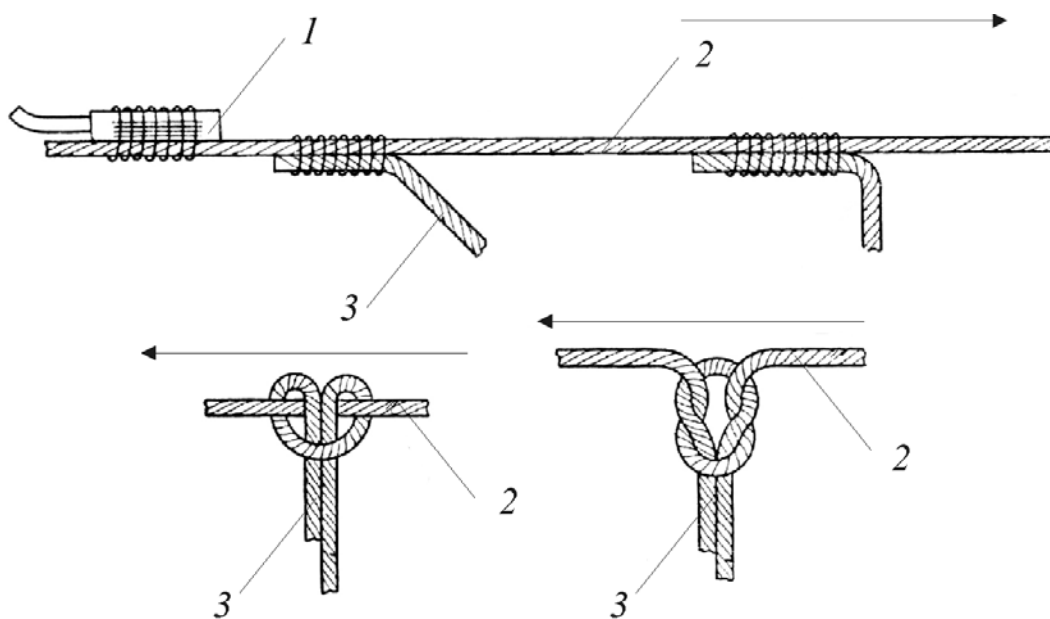


Рис. 5.18. Способи поєднання відрізків ДШ:

1 – детонатор вибухової трубки; 2 – магістральна лінія ДШ; 3 – розгалуження ДШ до зарядів; стрілка показує хід детонаційної хвилі

Детонувальний шнур можна різати гострим ножем на дерев'яній підкладці. Робота з ним і монтаж вибухової мережі прості і безпечні. Шнур має добру ізоляцію, що забезпечує

його водонепроникність при перебуванні у воді протягом 12 г. Він не витримує дії сонячних променів і зберігання в теплому місці, тому що оплавляється ізоляція й оголюється ВР.

Для підричних робіт у шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, випускають запобіжні детонувальні шнури ДШП-1 і ДШП-2. Серцевина першого складається із суміші ВР і полум'ягасника (активної солі лужного металу), зовнішня оболонка шнура поліхлорвінілова, діаметр шнура дорівнює 6 мм, серцевина другого – з чистої ВР і укладена в запобіжну полум'ягасну оболонку, покриту целофаном, а потім двома нитяними обплетеннями і поліхлорвініловою оболонкою. Зовнішній діаметр шнура 8,6...9 мм. Шнури легко детонують від ЕД і надійно передають детонацію ВР зі швидкістю 6 км/с. Водостійкість забезпечується, якщо тиск до 3 МПа.

Для підводних робіт застосовується водостійкий шнур ДШ-В із пластикатовим покриттям замість третього обплетення. Детонувальний шнур ДШ-В, споряджений теном (12 г ВР на 1 м), швидкість детонації шнура приблизно 7 км/с. Шнур діаметром 4,8... 5,8 мм. випускається відрізками по 50 м, згорнутими у бухти, обгорнені щільним папером. Бухти по 10 шт. укладають у дерев'яні ящики.

Для підричних робіт у нафтовій промисловості (для підривання торпед і перфораторних зарядів у глибоких свердловинах при температурі до 165°C) виготовляють спеціальні детонувальні шнури: термостійкий (ДТШ-165) і посилений (ДШП). У них термостійкі ВР і герметизувальна оболонка з поліетилену, що забезпечує нормальну працездатність при високих тисках (до 80 МПа) і температурах.

При свердловинному методі робіт детонувальний шнур пропускають у свердловину (для надійності вибухову мережу дублюють), потім ВР засипають у свердловину, а її устя засипають набійкою. На поверхні уздовж усть свердловин прокладають магістральну лінію ДШ і до неї під'єднують кінці ДШ, що йдуть зі шпар (див. рис. 5.18). Магістральну лінію ДШ підривають електродетонатором чи капсулем-детонатором. Детонувальний шнур викликає вибух зарядів у свердловинах. При заряджанні свердловин патронами один з них роблять бойовим, пропускаючи детонувальний шнур крізь патрон чи обмотуючи ним патрон. Заряди всіх свердловин, а також усі розосереджені частини заряду вибухають практично одночасно.

Останнім часом широке застосування одержало короткоуповільнене підривання, при якому заряди суміжних свердловин вибухають з інтервалами у 20...60 мс. При підриванні детонувальним шнуром уповільнення досягається за допомогою *піротехнічного реле уповільнення*. Реле призначено для створення уповільнень на магістральних лініях ДШ між сусідніми свердловинами (чи серіями свердловин), завдяки чому заряди вибухають у заданій послідовності і через визначені інтервали часу.

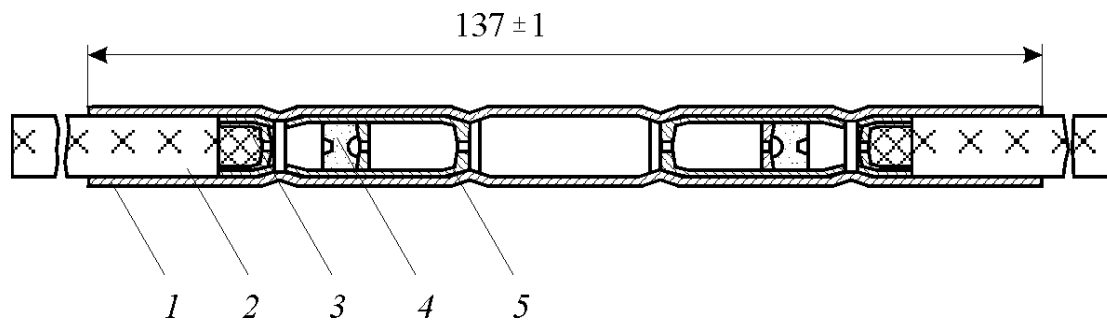


Рис. 5.19. Піротехнічний уповільнювач детонувального шнура КУДШ-62-2:

1 – металева трубка; 2 – відрізок детонуючого шнура; 3 – капсуль-детонатор; 4 – уповільнювач; 5 – проміжний ковпачок

Піротехнічний уповільнювач КУДШ-62-2 (рис. 5.19) складається з металевої трубки, середина якої у двох місцях обтиснута. У трубку до кінця з обох кінців дослані діафрагма і уповільнювач, що складається з оксиду міді й алюмінієвої пудри. Уповільнювач обтиснутий по дулку ковпачка в трубці, після чого в неї введені капсулі-детонатори і обтисненням закріплені відрізки ДШ довжиною 265 мм. КУДШ-62-2 має двосторонню дію, передає детонацію в мережу ДШ незалежно від того, яким кінцем воно включено, тому у підривному мережу детонувального шнура їх можна вмонтовувати в будь-якому положенні. Випускається трьох ступенів уповільнення, що розрізняються кольором середньої частини трубки:

Уповільнення, мс	10	20	35
Розкид часу спрацьовування, мс.....	± 4	± 5	± 7
Колір середньої частини трубки	Червоний	Чорний	Зелений

Уповільнювач КУДШ-62-2 розрахований для роботи при температурі від +50 до –30°C.

Піротехнічний уповільнювач детонувального шнура КУДШ-69 складається з картонної трубки, обтиснутої по торцях і у середній частині алюмінієвими втулками. У трубку введені капсуль-детонатор і уповільнювальна речовина і закріплені відрізки шнура. Уповільнювач може передавати детонацію тільки в одному напрямку, зазначеному на гільзі стрілкою, треба враховувати під час монтажу вибухової мережі цю особливість. Випускаються у десять серій з наступними уповільненнями:

Номер КЗДШ-69.....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Інтервал уповільнення і розкид часу спрацьовування	10±4	20±6	35±7	50±7	75	100	125	150	175	200

У 90-х роках XX ст. в Україні почали виготовлять уповільнювачі ДШ двосторонньої дії РП-92. Вони мають два детонатори з уповільнювачами, розвернутими на 180° з відрізка ДШ. Інтервал уповільнення між серіями 50 мс, максимальне уповільнення 400 мс.

Безкапсюльний спосіб проведення підривних робіт широко застосовується на відкритих розробках свердловинним методом і методом мінних камер, а також на підземних гірничих роботах (крім робіт підривних робіт на шахтах, небезпечних щодо газу і пилу).

5.5. Неелектрична схема ініціювання Нонель

Зарубіжні фірми (США, Швеція, Китай) розробили і широко застосовують неелектричні схеми ініціювання, засновані на передачі ударної хвилі по трубчастому пластиковому високоміцному хвилеводу зі швидкістю до 2 км/с. Це досягається за рахунок покриття внутрішньої його поверхні тонким шаром ВР (типу тена або октогена) з добавками тонкодисперсного алюмінію. Наважка ВР складає на 1 м хвилеводу приблизно 50 мг. Один кінець хвилеводу запаений, а на іншому монтується герметично детонатор. Ініціювання ударної хвилі в хвилеводі проводиться за допомогою спеціальних пістолетів-стартерів, споряджених капсулями типу «Жевело» (Швеція), електричним імпульсом від підривної машинки (Китай). Перед вибухом запаений кінець хвилеводу обрізається. Ініціювання можливо звичайним КД і ЕД або петлею ДШ. Обрізання кінця хвилеводу не потрібно, а ініціювання виконується одночасно 20 хвилеводів і більше, аналогічно принципу що застосовується для ДШ (рис. 5.20).

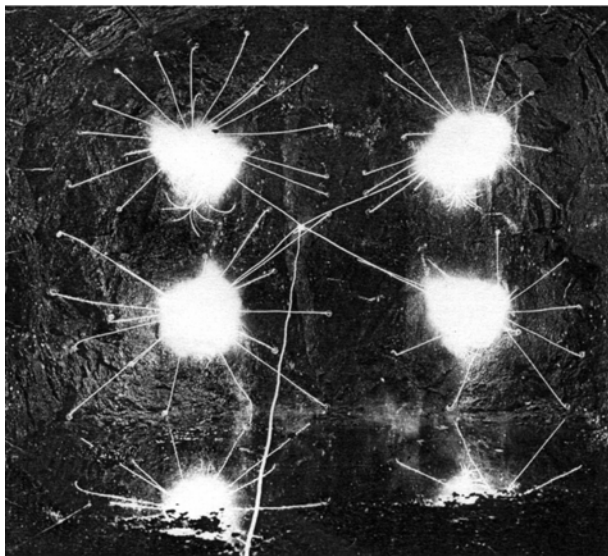


Рис. 5.20. Зовнішній вигляд системи Нонель після ініціювання: білі плями – місце ініціювання пучка трубчастих хвилеводів; білі лінії – трубчасті хвилеводи після ініціювання; крапки на кінцях світлих ліній – місця входу хвилеводу у свердловину (шпур)

У підземних умовах при використанні ВР звичайної чутливості ВР ініціюють детонаторами нормальної потужності, а у випадку водовмісних ВР, особливо на відкритих гірничих роботах, застосовують пресовані шашки – проміжні детонатори, в які встановлюються, як правило, два детонатори Нонель.

Системи зручні у монтажі, надійні і безпечні і все ширше використовуються в гірничій промисловості зарубіжних країн.

Детонатор нормальної потужності системи Нонель безвідмовно ініціює всі ВР нормальної чутливості. Складається з алюмінієвого корпусу – стакану, на дні якого запресовані заряди вторинної і первинної ініціюючих ВР; в

алюмінієвій трубці запресована уповільнююча речовина, чутливість якої забезпечує його підпалювання полум'ям, поширюваним у хвилеводі. Вхідний хвилевід герметично закріплюється в дулку детонатора за допомогою гумової трубки.

Підривні роботи

Підривними називаються гірничі роботи, які виконують за допомогою підривання зарядів ВР з метою відділення частини гірських порід від масиву, дроблення і переміщення їх на деяку відстань.

Зарядом називають визначену кількість ВР, підготовлену до вибуху.

У вугільних шахтах підривні роботи проводять із застосуванням невеликих зарядів ВР (масою в кілька сотень грамів). При підземній розробці рудних родовищ з міцними породами маса заряду досягає кількох десятків кілограмів. При масових вибухах на кар'єрах маса заряду ВР може досягати кілька сотень тонн.

Глава 6

Дія вибуху заряду ВР у гірській породі

6.1. Класифікація зарядів ВР

За способом прикладання до об'єкта, що руйнується, заряди поділяють на зовнішні (накладні) і внутрішні. Заряд називають *зовнішнім*, якщо він прикладений до поверхні об'єкта, що руйнується, *внутрішнім*, якщо він вміщений усередині середовища, що руйнується. В останньому випадку в масиві(об'єкті), що підлягає руйнуванню, створюють поглиблення (шпур, свердловину, камеру й ін.), у яке вміщують заряд ВР, розташований у такий спосіб усередині об'єкта, що підривається. Поглиблення роблять з таким розрахунком, щоб тільки частина їх була зайнята зарядом, а частину, що залишається, вільну від заряду, використовують для вміщення набійки.

Зовнішні (накладні) заряди застосовують для дроблення негабаритних блоків, а внутрішні при розпушуванні гірських порід з використанням шпурових чи свердловинних зарядів, а також при будівництві каналів, канав, траншів, тощо.

За побудовою (структурою, внутрішнім станом) заряди розділяють на суцільні і розосереджені.

Суцільним називають заряд, не розділений на окремі частини проміжками, чи заряди, які складаються з декількох прилеглих один до одного патронів ВР, *розосередженим*

– заряд, окремі частини якого (яруси) розділені проміжками із пластичних чи сипучих твердих матеріалів, води, повітря і т.д.

Ініціювання окремих ярусів здійснюється прокладкою ДШ уздовж заряду ВР чи розміщенням у кожному з них електродетонатора.

Суцільні заряди застосовують, наприклад, при проведенні гірничих виробок звичайним підриванням.

Застосування розосереджених зарядів ВР із повітряними проміжками – один з ефективних способів регулювання ступеня дроблення гірських порід вибухом на відкритих роботах. Його наукові основи і технологічні рішення розроблені в ІГС ім. О.О. Скочинського під керівництвом академіка М.В. Мельникова і професора Л.М. Марченко.

У вугільних шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, розосереджені заряди з проміжками з піщаноглиняної суміші допускається застосовувати в породному вибої виробок, у яких не виділяється метан, і тільки у врубових шпурах, а також при розкритті викиднебезпечних пластів струсним підриванням.

За формою (конфігурацією) заряди розділяють на зосереджені і подовжені.

Зосереджені заряди за формою наближаються до кулі, кубу. До них відносять також заряди, що мають форму паралелепіпеда чи циліндра, якщо їх довжина не перевищує чотирьох-п'яти розмірів у поперечнику.

Подовжені (колонкові) заряди мають циліндричну форму, довжина їхня більш ніж у 4...5 раз перевищує розмір у поперечнику.

При підривних роботах зосереджені заряди розміщують у камерах чи “котлах” і тому їх називають камерними чи котловими, подовжені – у шпурах і свердловинах і тому їх називають *шпуровими*, чи свердловинними, чи просто циліндричними.

Залежно від форми і величини заряду ВР, а також способу розміщення його щодо масиву, що руйнується, розрізняють наступні методи підривних робіт: шпуровий; свердловинних зарядів; камерних (котлових) зарядів; зовнішніх (накладних) зарядів. Практично єдиним методом підривних робіт у вугільних шахтах є шпуровий. Залежно від розміру зарядів і глибини розташування їх від поверхні (три перші з перерахованих методів ведення підривних робіт) можливі два види їхньої дії: внутрішній і зовнішній.

6.2. Внутрішня дія вибуху заряду в гірській породі

Якщо під час вибуху заряду ВР у масиві породи дія його нічим не проявиться на відкритій поверхні і локалізується усередині масиву, то вона називається *внутрішньою дією* (камуфлетом), а заряд – *камуфлетним зарядом*.

Під час вибуху камуфлетного заряду в породному масиві на стінки зарядної порожнини діє динамічний удар. У гірській породі виникають хвильові явища, інтенсивні біля заряду і послаблені в міру віддалення від нього. У породному масиві утворюються зони: стиснення (витиснення й ущільнення), тріщиноутворення (розривів, струсу і розтріскування) і струсу. Перша зона дуже мала і не має чіткої межі з зоною тріщиноутворення. Тому доцільно розглядати зони витиснення і розривів спільно як одну загальну зону – зону руйнування (рис. 6.1). Іноді при визначеному співвідношенні між величиною заряду і

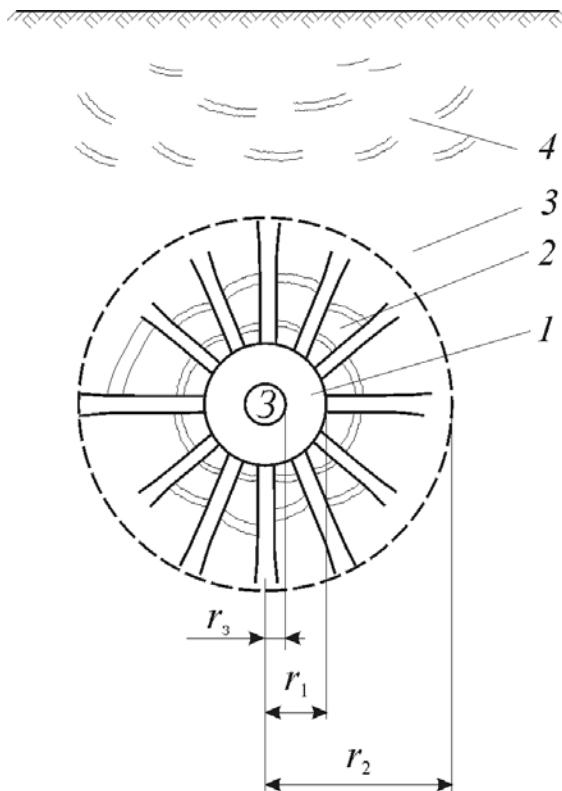


Рис. 6.1. Схема внутрішньої дії заряду у гірській породі:

1, 2, 3 і 4 – зони витиснення (котел);
тріщиноутворення; струсу і відколу;
 r_1 і r_2 – радіуси зон витиснення і руйнування;
 r_3 – радіус заряду; 3 – заряд до вибуху

відстанню його до відкритої поверхні, утворюється ще зона відколів.

Процес руйнування породи, згідно з теорією Г.І Покровського, йде таким чином: у момент вибуху удар газів вибуху руйнує і витісняє деякий шар породи, що примикає до заряду, утворюючи порожнину – зону витиснення чи котел. Роздавлена і витиснута порода вдавлюється у стінки котла, які унаслідок цього являють собою шар роздавленої й ущільненої породи. Ударна хвиля, що виникла у момент вибуху, переміщається радіально в масиві породи за межі котла, викликаючи зміщення часток породи в радіальному напрямку. У результаті радіального переміщення часток і шарів породи в ній виникають діючі у тангенціальному напрямку зусилля розтягнення і зсуву. Вони викликають утворення мережі радіальних і кільцевих (переривчастих сферичних) тріщин.

Таким чином, у межах зони руйнування на початку (від центра) розташовується шар безструктурної, роздавленої й ущільненої породи з частими і широкими тріщинами розривів і складань. Він поступово переходить у породу, що зберегла свою структуру в окремих частинах, але також пронизану мережею радіальних і сферичних тріщин. В міру віддалення від центра тріщинуватість зменшується. Чіткої зовнішньої межі зона руйнування не має.

З віддаленням від осередку вибуху ударна хвиля загасає і переходить у хвилю напруг, що поширюється зі звуковою швидкістю, яка на деякій відстані загасає. Ця зона (зона струсів) не має чітко виражених внутрішніх і зовнішніх меж.

Залежно від глибини закладення заряду ознаки вибуху можуть бути не виявлені на земній поверхні чи проявляються як слабка сейсмічна хвиля. Якщо заряд закладений не глибоко від земної поверхні, то до неї може дійти хвиля напруг стиснення. Коли ця хвиля досягає відкритої поверхні, верхні шари породи, що не зустрічають достатнього опору спереду, починають відриватися (опір породи розриву в 10...50 раз менше опору стиснення). У відкритій поверхні зароджується хвиля розтягнення, що йде до центра вибуху. Хвиля стиснення мов би відбивається від відкритої поверхні породи у формі хвилі розтягнення. В міру віддалення від поверхні енергія хвилі розтягнення загасає, але в поверхні відбиття хвиля може створити кілька сферичних відкольних тріщин, у результаті чого відбувається відкол і навіть відкидання породи. Отже, зона відколів може виникати при відповідних співвідношеннях між зарядом і глибиною його закладення.

Радіус зони витиснення (див. рис. 6.1) залежить від міцності і пружних властивостей гірської породи, від величини і форми заряду, від загальної працездатності і бризантності ВР і від щільності заряджання. Оскільки чинна теорія заснована на пропорційності розмірів середовища руйнування і розривів заряду у відповідності до геометричного закону подібності, радіус зони витиснення може бути виражений через радіус заряду за інших рівних умов:

$$r_1 = \bar{r}_1 r_3 \quad (6.1)$$

де $\bar{r}_1$ – приведений радіус зони витиснення (котла), чи коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив перерахованих вище факторів.

При підриванні зосередженого заряду тротилу чи амоніту 63В у м'яких ґрунтах (глина, суглинок, рослинна земля і т.п.) $\bar{r}_1 = 4...6$, а при підриванні у скельних ґрунтах ($f=8...13$) $\bar{r}_1 = 1,5...2,2$.

У випадку використання інших ВР приведений радіус чи коефіцієнт пропорційності визначається за формулою

$$\bar{r}_1 = \bar{r}_T \sqrt[3]{\frac{Q'_V c}{Q'_{VT} c_T}}, \quad (6.2)$$

де Q'_V і Q'_{VT} – питома теплота вибуху відповідно застосованого ВР і тротилу (1000 кДж/кг); ρ і ρ_T – густина ВР відповідно застосованого і тротилу (1500 кг/м³).

При підриванні подовжених циліндричних зарядів ($l > 5d_3$) котли виходять циліндричної форми; радіус зони витиснення в цьому випадку розраховується за формулою (6.1). Значення коефіцієнта пропорційності r_1 при підриванні тротилом і амонітом 63В приймається 10...15 у м'яких ґрунтах і 2...4 – скельних породах. При використанні інших ВР

(для подовжених зарядів) коефіцієнт перераховуються за формулою (9.2). Довжина циліндричного котла перевищує довжину заряду на три-чотири діаметри останнього.

При відносній довжині заряду $l_3 / d_p = 6$ енергія вибуху, що діє на стінки шпуру чи свердловини проти центра заряду, становить 90% максимальної величини енергії, що діяла в цьому ж місці при нескінченно довгому заряді. Якщо відносна довжина заряду менше 6, розсіювання енергії біля торців заряду збільшується і радіус котла зменшується.

При виконанні спеціальних видів буропідбивних робіт донну частину шпурів і свердловин розширюють для підвищення місткості. Котли утворюються підбиванням невеликих зарядів ВР, вміщених на дно свердловини (цей процес називають прострілюванням шпурів).

Ефект котлоутворення застосовують також при проходці глибоких колодязів і невеликих стволів у м'яких породах. Наприклад, ствол завглибжки 54 м і діаметром 5,2 м на Юрковському буровугільному кар'єрі (Росія) був пройдений шляхом витиснення й ущільнення ґрунтів при внутрішній дії вибуху заряду в пробуреній свердловині. Досвід проведення цим способом шурфів на глибину до 60 м був й у Кузбасі. При цьому термін проведення шурфу скорочувався на 20...40%, а вартість проходки і кріплення виробки – на 10...30%. Методом ущільнення м'яких ґрунтів вибухом створюють і порожнини великих розмірів для зберігання нафти.

Дослідна проходка стволів у піщаниках і глиняних сланцях методом витиснення показала негативний результат. При підбиванні зарядів ВР по тих же породах у свердловинах діаметром 100...250 мм, глибиною від 40 до 100 м одержали коефіцієнт розширення всього 3...6.

Ефект руйнування гірських порід при внутрішній дії заряду ВР використовують у випадках торпедування нафтових свердловин для посилення віддачі нафти; шпурів і свердловин у вугільних шахтах для посилення дегазації пластів і попередження раптових викидів і т.п.

Радіус зони руйнування (див. рис. 6.1):

$$r_2 = \bar{r}_2 \cdot r_3, \quad (6.3)$$

де $\bar{r}_2$ – приведений радіус зони руйнування (виражений через радіус заряду), чи коефіцієнт пропорційності.

При підбиванні подовжених циліндричних зарядів у скельних породах $\bar{r}_2 = 12...20$, а сферичних зарядів у м'яких $\bar{r}_2 = 20...35$. Обсяг зони руйнування приблизно в 1000...2000 разів більший за об'єм заряду.

Один з перспективних напрямів створення підземних нафтосховищ – застосування камуфлетних ядерних вибухів. Прикладом використання можуть бути

експериментальні вибухи "Рейнер", "Хардхет", "Гном", "Соломон" та інші, які проводились в США. Однак використання промислових ядерних вибухів у широких масштабах стримується на сучасному рівні розвитку техніки двома негативними факторами: радіоактивним забрудненням середовища і значним сейсмічним ефектом.

Як приклад подібного вибуху у СРСР розглянемо експериментальний атомний вибух, еквівалентний потужності 333 т тринітротолуолу, який був зроблений 16 вересня 1979 року о 12 годині майже на кілометровій глибині вугільної шахти "Юнком" ВО "Орджинікідзевугілля". Експеримент проводився під м. Южнокомунарівськ. Ініціатором акції виступив Московський інститут гірничої справи ім. О.О. Скочинського, після землетрусу на Сахаліні, під час якого вугільні пласти шахти повністю "розгазувались" – зник рудниковий газ – метан.

На глибині 826 м пройшли спеціальну виробку, в кінці якої зробили нішу. У неї вмістили 3-метрової довжини циліндр діаметром 80 см, який містив ядерний заряд. Після підриву заряду утворилась 10-метрова куля, зроблена неначе із скла. В середині вона порожня, а товща її оболонки сягала 1 м.

На підставі термоядерних підземних вибухів у США встановлено, що під час вибуху дію заряду на породу можна розчленувати на чотири фази:

I – ядерна реакція, триває мікросекунди, за цей час в об'ємі діаметром до 6 м температура досягає 1 млн.°C і тиск понад 0,1 млн.МПа;

II – гідродинамічний вплив, триває мілісекунди, за цей час відбувається випарування і плавлення порід і утворення зони витиснення (ударні хвилі дроблять породи у найближчій зоні, а сейсмічні коливання у дальній);

III – статична дія, триває хвилини, у цей час обвалюється покрівля котла й утворюється конус обвалу над ним;

IV – наслідок, триває місяці й роки; у цей період відбувається повільне вирівнювання температури порід і розпад радіоактивних продуктів.

До моменту обвалення порожнини радіоактивні продукти вибуху, які залишились в газовому стані, розповсюджуються по всьому об'єму порожнини обвалення і більша їх частина сорбується уламками. Вони є найбільшою потенційною небезпекою. Наведена активність значно безпечніша. Окрім цього, нейтрони ядерного вибуху поглинаються породою до 1,8 м від центру вибуху. Таким чином, вся опромінена порода розплавляється, випаровується і фактично цілком попадає у розплав породи на дні порожнини. Усього у розплаві залишається понад 90% радіоактивних продуктів. Якщо в наявності є достатня кількість алюмінію і кремнезему – радіоактивний розпад здатний вилуговуватись під дією ґрунтових вод протягом століть, зберігаючи 99,5% радіоактивних часток.

Розрахунками проф. Г.І. Покровського встановлено, що через 6...12 міс. після вибуху рівень радіоактивності знижується настільки, що робота екскаваторів у районі вибуху буде безпечною.

Відносна кількість енергії вибуху, яка трансформується в сейсмічну хвилю, становить менше 1%. Однак під час ядерних вибухів абсолютне значення цієї величини значне, що зумовлює повне чи часткове руйнування різних об'єктів на відстані 2,5...5 км і більше. Відстані, на яких не спостерігається деформацій у конструкціях, небезпечних для їх стійкості, називаються *сейсmobезпечними*.

6.3. Зовнішня дія вибуху заряду в гірській породі

При деякій співвідношенні заряду і глибини його закладення зона відколів може зімкнутися з зоною руйнування чи настільки наблизитися до неї, що під тиском газів вибуху проміжний шар породи буде роздроблений і порода повністю зруйнується від поверхні до порожнини котла. Таке явище, як і явище відколу, належить до зовнішньої чи відкритої дії вибуху заряду.

Процеси руйнування гірської породи в цьому випадку протікають таким чином. У момент вибуху удар газів утворить котел (зону витиснення). Радіус котла за інших рівних умов у перший момент буде такий же, як і під час вибуху камуфлетного заряду (пізніше, при загальному посуванні породи, він деформується у бік відкритої поверхні). Це пояснюється тим, що котел утвориться під впливом першого імпульсу ударної хвилі. Повторні (відбиті) імпульси, як показують виміри в шпурах, у 2...4 рази слабкіші і не можуть його збільшити, стінки вже ущільнені внаслідок розширення об'єму зарядної камери.

Перший імпульс збуджує потужну ударну хвилю, яка, проходячи через породу, викликає зсув середовища й утворення тріщин. В міру виникнення у тріщини проникають газоподібні продукти вибуху, що знаходяться під великим тиском, з тією же швидкістю, з якою ці тріщини утворюються (200...1500 м/с). Гази вибуху, тиснучи на стінки котла і поверхню тріщин, тримають породу в напруженому стані, розширюють і подовжують тріщини в напрямку відкритої поверхні. Товща порід, ослаблена відколами і тріщинами, що йдуть з поверхні, викликаними відбитою хвилею напруг, руйнується. Таким чином, зовнішня дія вибуху заряду виявляється тоді, коли глибина закладення його від поверхні порівняно невелика і заряд під час вибуху здатний не тільки утворити деякий конус зруйнованої породи, але і викинути її за межі цього конусу, тобто утворити вирву вибуху (рис. 6.2). Радіус основи вирви r називають *радіусом вирви вибуху*. Найкоротшу відстань від центру заряду до відкритої поверхні називають *лінією найменшого опору* (ЛНО) чи глибиною

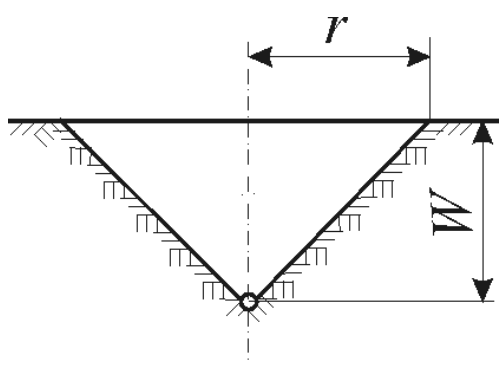


Рис. 6.2. Воронка вибуху

закладення заряду і позначають буквою W . Відношення радіуса вирви вибуху до лінії найменшого опору називають *показником дії вибуху* чи *показником розхилу вирви* n .

$$n = r / W.$$

Якщо однакові заряди закласти на різній глибині в одній і тій же породі, то утворяться вирви з різними показниками дії вибуху: з $n=1$ називається *вирвою нормального викиду* (рис. 6.3, а), а заряд, що

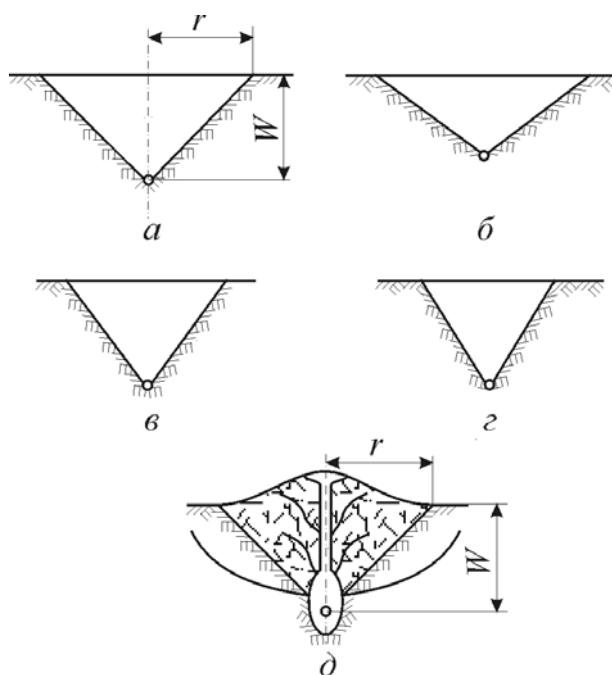


Рис. 6.3. Вирви, утворені вибухом заряду у скельних породах (а, б, в, г) та у суглінку (д)

утворить таку вирву – *зарядом нормального викиду*; з $n > 1$ називається *вирвою посиленого викиду* (рис. 6.3, б), а заряд – *зарядом посиленого викиду*; з $0,7 < n < 1$ називається *вирвою зменшеного викиду* (рис. 6.3, в), а заряд – *зарядом зменшеного викиду*. Якщо заряд закласти ще на більшу глибину, тоді під час вибуху утвориться *вирва розпушування* (рис. 6.3, г, д) з показником дії вибуху $0,4 < n < 0,7$, а заряд називається *зарядом розпушування*.

У м'яких породах вирва близька до форми параболоїда чи зрізаного конуса. Пояснюється це більшими зоною стиснення і розширенням вирви внизу.

У міцних породах об'єм зони стиснення і ширина вирви внизу невеликі, а вирва близька за формою до простого конусу. Об'єм такої вирви дорівнює

$$V = \pi r^2 W / 3. \quad (6.5)$$

Замінивши r його значенням з формули (9.4) і прийнявши $\pi/3 \approx 1$, одержимо

$$V = n^2 W^3. \quad (6.6)$$

Якщо вирва нормального викиду, то її об'єм $V_n = W_n^3$.

Видима глибина вирви h при вибуху малобризантних ВР (8...10 мм) у деяких скельних породах може бути визначена за емпіричною формулою

$$h = 0,33W(2n - 1). \quad (6.7)$$

Для міцних скельних порід коефіцієнт перед W рекомендується 0,28, а при м'яких ґрунтах – 0,4. Значення n при розрахунку зарядів викиду – не більше 2,5.

6.4. Сейсмічна дія вибуху заряду на навколишнє середовище

Сейсмічна дія вибуху – це коливання твердого середовища за межами зони руйнування, де вибухова хвиля переходить у пружні сейсмічні хвилі. Сейсмічні явища спостерігаються як при внутрішній, так і зовнішній дії вибуху, їх можна розглядати як малу модель природного землетрусу. Джерелом сейсмічної енергії під час вибуху є заряд ВР, при землетрусах – пружна енергія тектонічних деформацій земної кори.

Сейсмічні коливання поширюються на значні відстані від місць проведення підричних робіт і можуть бути небезпечними для будинків (споруд). Тому для практики велике значення мають відстані, за межами яких коливання ґрунту стають безпечними для будинків (споруд). Вони залежать від безлічі різнопланових факторів. Сейсмічна безпека будинків (споруд) при вибухах зумовлює відсутність пошкоджень, що порушують їх нормальне функціонування (імовірність появи в окремих будинках і спорудах легких пошкоджень складає приблизно 0,1).

Методи розрахунку сейсмічно безпечних відстаней залежно від умов підривання наведені в "Єдиних правилах безпеки при підричних роботах", а саме:

а) під час вибуху одиночного зосередженого заряду відстані, м, на яких коливання ґрунту стають безпечними для будинків (споруд)

$$r_c = k_r k_c \alpha^3 \sqrt{Q}, \quad (6.8)$$

де k_r – коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту в підвалинах будинку (споруди), що охороняється, беруть з табл. 6.1, значення його збільшується при підвищенні коефіцієнта міцності порід;

k_c – коефіцієнт, що залежить від типу будинку (споруди) і характеру забудови, беруть з табл. 6.2;

α – коефіцієнт, що залежить від умов підривання (беруть з табл. 6.3) і пов'язаний з ЛНО.;

Q – маса заряду ВР, кг.

б) при одночасному (без уповільнення) підриванні групи з N зарядів ВР загальною масою Q у тих випадках, коли відстань від об'єкта, який охороняється, до найближчого заряду і до найвіддаленішого заряду різняться не більш ніж на 20%:

$$r_c = N^{1/6} k_r k_c \alpha \sqrt[3]{Q}, \quad (6.9)$$

Таблиця 6.1. Значення коефіцієнта k_r

Грунт у підвалині споруди, що охороняється	k_r
Скельні породи, щільні, непорушені	3
Скельні породи порушені	5
Грунти:	
галечникові і щебенисті	7
піщані	8
глинисті	9
насипні і ґрунтові	15
водонасичені (пливуні і торфовища)	20

П р и м і т к а. При розміщенні заряду в воді чи водонасичених ґрунтах значення коефіцієнта k_r треба збільшувати в 1,5...2 рази.

Таблиця 6.2. Значення коефіцієнта k_c

Будинки (споруди), характер забудови	k_c
Одиночні будинки (споруди) з залізобетонним чи металевим каркасом	1,0
Одиночні будинки з цегельними чи подібними стінами	1,5
Невеликі житлові селища	2,0

$$(k_r k_c \alpha)^3 \sum_N \frac{q_i}{r_i} \leq 1, \quad (6.10)$$

де N – число зарядів ВР;

q_i – маса окремого заряду ВР, кг;

r_i – відстань від окремого заряду ВР до об'єкта, що охорогається, м.

в) при неодноразовому вибуху N зарядів ВР загальною масою Q з часом уповільнення підривання кожного заряду не менш 20 мс

$$r_c = k_r k_c \frac{\alpha}{N^{1/4}} \sqrt[3]{Q}, \quad (6.11)$$

Слід зазначити, що при підриванні групи зарядів з уповільненням між вибухами менше 20 мс кожен таку групу треба розглядати як окремий заряд. Для унікальних будівель виконують спеціальні розрахунки.

При більшому розходженні у відстанях об'єкт, що охороняється, буде знаходитися поза сейсмічно небезпечною зоною, якщо

Таблиця 6.3. Значення коефіцієнта α

Вибух	α
Камуфлетний і на розпушування	1,2
На викид: залежно від показника дії вибуху:	
$n=1$	1,0
$n=2$	0,8
$n>3$	0,7
Напівзаглибленого заряду	0,5

П р и м і т к а. Під час вибуху на поверхні землі сейсмічна дія вибуху не враховується.

6.5. Баланс енергії ВР під час вибуху

Перетворення потенційної енергії вибуху Q_v у корисні форми механічної роботи відбувається зі значними втратами. Великий інтерес викликає схема використання енергії вибухових речовин під час проведення підривних робіт у гірських породах, яку О.Ф. Беляєв представив у вигляді діаграми роботи вибуху (рис. 6.4). На ній чітко показані корисні форми використання енергії ВР і некорисні форми її витрат. Як видно з рис. 6.4, потенційна енергія ВР за винятком хімічних втрат складає повну фактичну теплову енергію вибуху, яка дорівнює $(0,72...0,80)Q_v$, а за винятком теплових втрат – повна фактична робота вибуху становить приблизно $0,5Q_v$. Хімічні втрати пов'язані з неповнотою перетворення ВР у результаті часткового розкидання речовини в зоні реакції.

До теплових відносять втрати, зумовлені тим, що продукти вибуху викидаються в атмосферу ще досить нагрітими, а також тим, що частина теплоти йде на нагрівання навколишнього гірського масиву (шляхом теплообміну і внутрішнього тертя при пластичних деформаціях середовища).

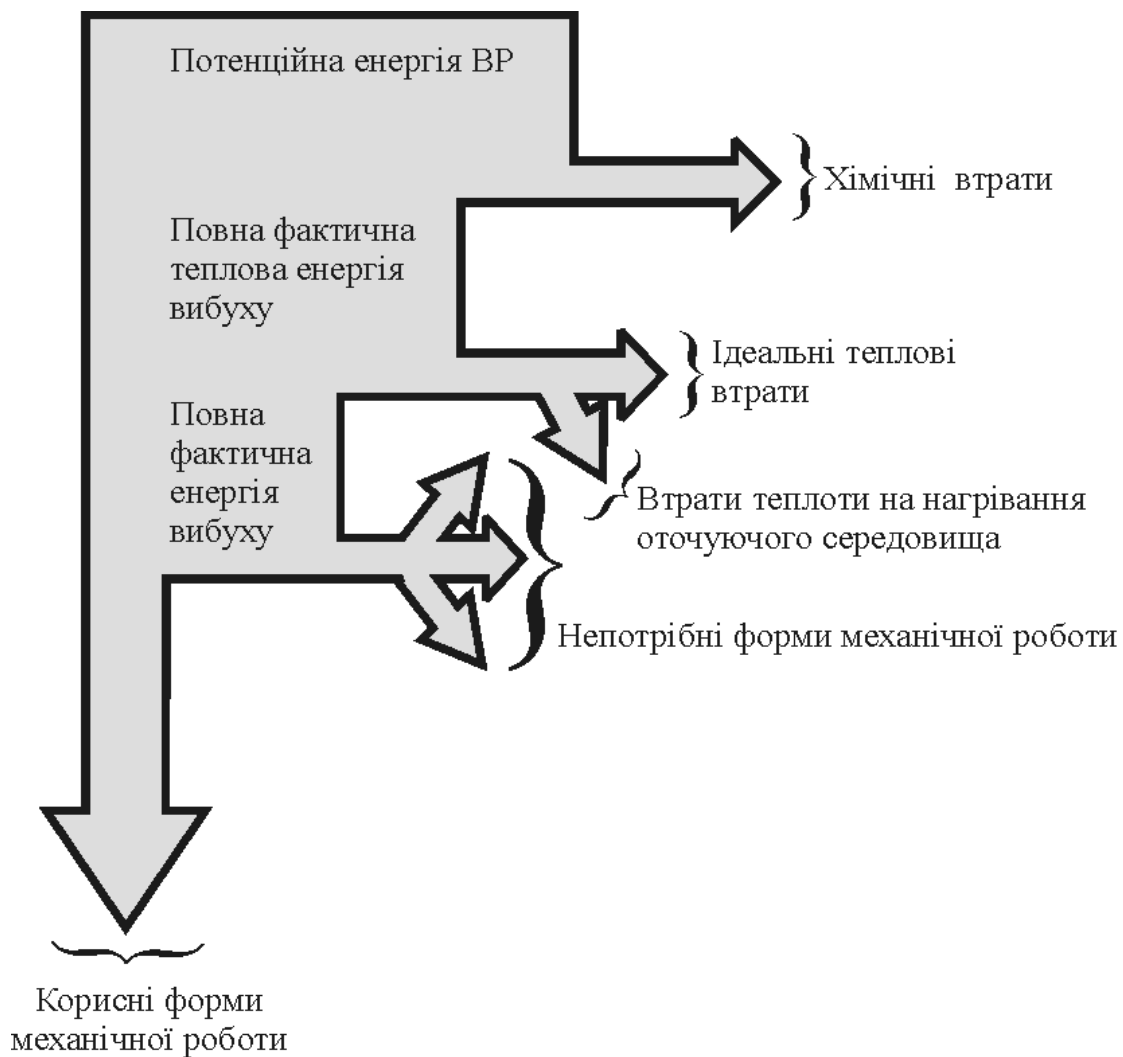


Рис. 6.4. Схема балансу енергії під час вибуху (діаграма роботи вибуху)

Дія вибуху заряду ВР у породному масиві проявляється: у корисних формах, для яких виконується вибух, і некорисних, що являють собою втрати, а також шкідливих впливів на законтурний масив (розкид породи, передрібнення прилеглих до заряду частини масиву).

Залежно від умов вибуху і його мети корисні форми роботи будуть істотно змінюватися. Стосовно підричних робіт у скельних породах найбільше значення має робота дроблення і переміщення порід, у пухких – прострілювання (утворення порожнин) і викид на визначену висоту і відстань.

Частка потенційної енергії вибуху, що припадає на корисні форми механічної роботи, $A_{ВР}$, називають *коефіцієнтом корисної дії вибуху*

$$ККД_{ВР} = (A_{ВР} / Q_V) \cdot 100\%. \quad (6.12)$$

Коефіцієнт дуже малий. Наприклад, лише 3...8% потенційної енергії вибуху витрачається на фактичну роботу руйнування і викиду, при вибухах на розпушування ККД ВР може становити 13...30%.

Глава 7

Шпуровий метод вибухових робіт

При проведенні гірничих виробок і видобутку корисних копалин у вугільних шахтах в основному застосовується шпуровий метод, свердловинний відіграє другорядну роль.

Принцип шпурового методу полягає у тому, що в масиві, який підлягає руйнуванню, бурять по вибої шпури, у кожний з яких вміщують заряд ВР і набійку (рис. 7.1) з наступним підриванням усіх зарядів із заданою послідовністю.

7.1. Основні параметри шпурового методу

Шпуrom називається циліндричної форми порожнина діаметром до 75 мм і завдовжки до 5 м, пробурена в породі і призначена для розміщення заряду ВР. Порожнини великих розмірів називаються *свердловинами*. Початок шпуру називається *устям*, а кінець (торцева частина) - *вибоєм* чи *дном*, бічна поверхня – *стінками*. Основні параметри шпурів: діаметр $d_{\text{ш}}$, довжина $l'_{\text{ш}}$ і глибина $l_{\text{ш}}$ (рис. 7.1).

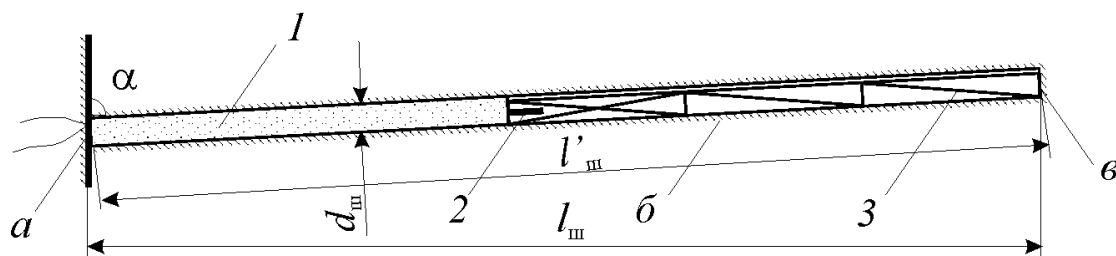


Рис. 7.1. Конструкція шпурового заряду ВР:

а, б и в – устя, стінки і дно шпуру; *1* – набійка шпуру; *2* – електродетонатор; *3* – вибухова речовина

Шпури нестрогої циліндричної форми, тому що на їхніх стінках неминучі виступи (до 0,5...1 мм) та ін. На патронах ВР також є нерівності. Тому, якщо приймати діаметр шпуру, який би дорівнював діаметру патрона $d_{\text{п}}$, то патрони у кращому випадку не ввійдуть у шпур, а у гіршому – дійдуть до якось різкого виступу і заклиняться на ньому, що призведе до відказу. У той же час, чим більше радіальний зазор, тим менше попередній тиск при вибуху і його корисна дія.

Стандартний діаметр різців і коронок, а отже, і шпурів у вугільних шахтах прийнятий 41...43 мм для патронів ВР діаметром 36 і 32 мм і 51...53 мм – для патронів ВР діаметром 45 мм.

Довжина шпуру – це відстань від дна шпуру до його устя, виміряна по осі. Глибина – це відстань від дна шпуру до вибою виробки, виміряна по її поздовжній осі, тобто глибина закладення шпуру в гірському масиві. Глибину шпуру визначають як проекцію довжини шпуру на поздовжню вісь виробки:

$$l_{\text{ш}} = l_{\text{г}} \sin \alpha, \quad (7.1)$$

де α – кут між вибоєм виробки і віссю шпуру.

Наприклад, глибина шпуру, пробуреного під кутом 62° до вибою виробки на довжину 2,07 м, $l_{\text{ш}} = 2,07 \cdot 0,883 = 1,83$ м.

Вибір раціональної довжини шпурів відіграє значну роль, оскільки, чим глибше закладені шпури, тим більше посування вибою виробки після кожного вибуху. Застосування більш глибоких шпурів зменшує кількість прохідницьких циклів на визначену довжину виробки, знижує відносний час, що витрачається на заряджання, підривання і провітрювання після вибуху, а також збільшує продуктивність прибиральних машин. Однак при проходженні підземних виробок довжина шпурів не лише не може бути безмежною, але навіть не повинна мати великі числові значення через роботу заряду у сильному затиску.

У практиці виконання підричних робіт у вибоях з однією відкритою поверхнею довжина шпурів буває 1,5...3 м (у стволах – 4...4,5 м), але частіше – 1,5...1,8 м у міцних породах, 1,8...2,2 м – у породах середньої міцності і 2,2...2,5 м – у слабких. При підричних роботах у вибоях із двома відкритими поверхнями довжина шпурів становить 1,8...5 м, але найчастіше застосовують шпури довжиною 2,2...3 м. При підриванні по вугіллю і породі довжина повинна бути не менше 0,6 м.

7.2. Коефіцієнт використання шпурів

Шпуровий заряд, особливо якщо ЛНО збігається з віссю шпуру, руйнує породу (вугілля) лише в найближчій до вибою його частині. Донна ж частина залишається в незруйнованій породі у вигляді так званого стакану (рис. 7.2). Це призводить до того, що за одне підривання вибій виробки посувається не на повну глибину шпурів. Тому один з найважливіших параметрів підричних робіт – довжина заходки $l_{\text{зах}}$ – посування вибою за одне підривання (за один цикл), при цьому $l_{\text{зах}} < l_{\text{ш}}$.

Відношення посування вибою за одне підривання до глибини шпурів називається коефіцієнтом використання шпурів (скорочено КВШ),

$$\eta = l_{\text{зах}} / l_{\text{ш}} \rightarrow 1. \quad (7.2)$$

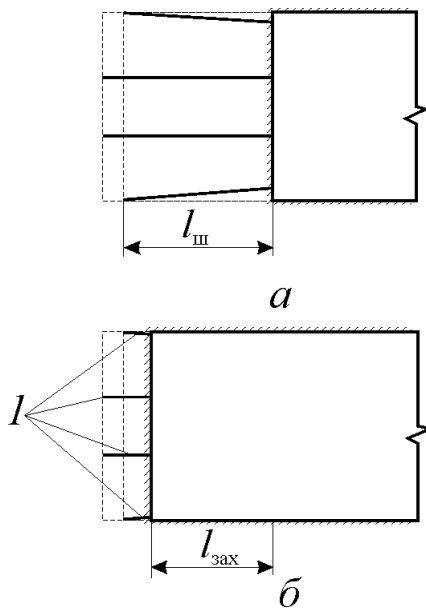


Рис. 7.2. Вибій виробки:

a і *б* – до і після підривання шпурових зарядів ВР; *l* – стакани

но – 0,80...0,85; на дві відкриті поверхні – 0,90...0,95.

Під час виконання промислових іспитів нових типів ВР і нових технологій проведення підривних робіт КВШ встановлюють за посуванням вибою за визначений період часу – як правило, за 10 підривань (циклів), а саме:

$$\eta = L_{\text{виб}} / n_{\text{ц}} l_{\text{ш.ср}}, \quad (7.3)$$

де $L_{\text{виб}}$ – посування вибою виробки за заданий період часу (установлюють маркшейдерськими вимірами), м;

$n_{\text{ц}}$ – кількість підривань за цей контрольний період;

$l_{\text{ш.ср}}$ – середня глибина шпурів, м.

7.3. Класифікація шпурів за призначенням

Серійне підривання зарядів ВР забезпечує руйнування гірського масиву в обсязі проектного контуру виробки чи одержання проектного об'єму гірської маси (в очисних вибоях і на відкритих гірничих роботах). Ефективність підривних робіт (одержання високих КВШ) багато в чому залежить від правильного розташування одного шпуру відносно іншого і відкритої поверхні. У зв'язку з цим у вибоях підготовчих виробок з однією відкритою поверхнею шпури розташовують з таким розрахунком, щоб підриванням зарядів у декількох з них утворювати додаткову відкриту поверхню і полегшити тим самим роботу інших зарядів.

За призначенням шпури розрізняють (рис. 7.3):

КВШ – це безрозмірна величина, що характеризує ефективність дії вибуху шпурових зарядів ВР, один з основних критеріїв якості вибуху, правильності обраної схеми розташування шпурів і питомих витрат ВР.

Нормативне значення КВШ дорівнює 0,8. На передових проходках КВШ досягає 0,90...0,95 і навіть 0,97...1 (у слабких породах). Це досить високі КВШ. Так, якщо глибина шпурів 2 м, довжина заходки при $\eta=0,8$ становить $l_{\text{зах}}=1,6$ м; глибина стаканив у цьому випадку буде 0,4 м. У деяких стаканах можуть бути залишки ВР. Тому не можна бурити шпури наступного циклу через стакани, тобто забороняється їх розбурювати – можливий несанкціонований вибух ВР із трагічними наслідками.

Рекомендуються наступні значення КВШ при проектуванні БПР: при підриванні на одну відкриту поверхню – 0,80...0,85; на дві відкриті поверхні – 0,90...0,95.

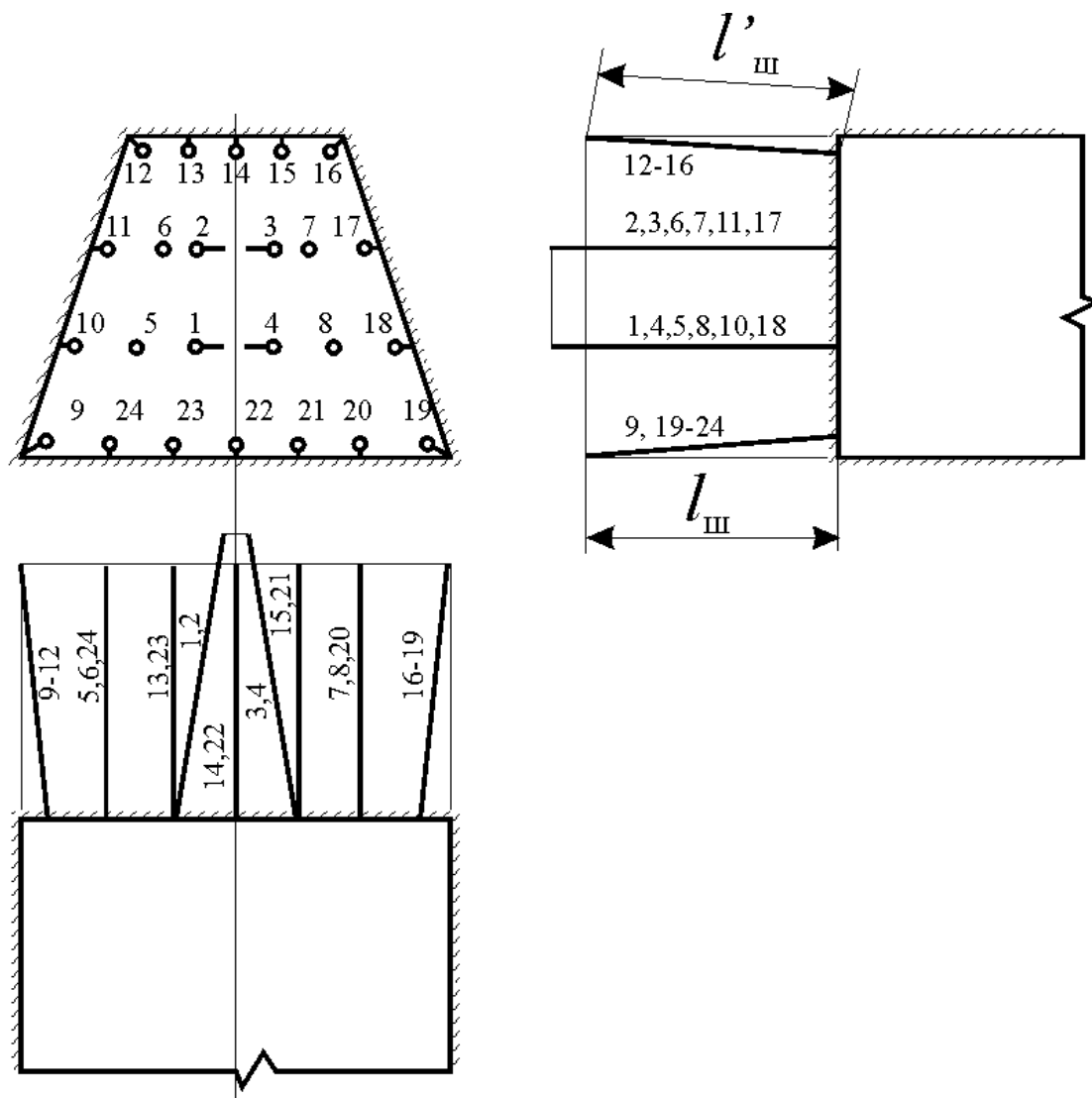


Рис. 7.3. Принципова схема розташування шпурів у вибої гірничої виробки

врубів (1...4) – для утворення другої (додаткової) відкритої поверхні (порожнини) за рахунок руйнування і часткового викиду деякого об'єму породи буряться за спеціальними схемами;

допоміжні (проміжні) (5...8) – розширюють врубову порожнину, їх розташовують, як правило, перпендикулярно до проектного контуру вибою виробки;

оконтурювальні (9...24) – для відбивання породи по контуру виробки, буряться похило з метою надання їй поперечного перерізу проектних розмірів і форми.

У виробках з малою площею поперечного перерізу допоміжних шпурів може і не бути, а їхню роль виконують оконтурювальні шпури. У виробках з великою площею перерізу між допоміжними і оконтурювальними шпурами можуть додатково розміщатися передконтурні шпури.

Шпурові заряди підривають у такій послідовності: врубові – допоміжні – передконтурні – оконтурювальні.

Короткі одиночні шпури, призначені для вирівнювання поперечного перерізу виробки, називаються *підбурками*.

7.4. Вимоги, що пред'являються до буропідричних робіт під час проведення гірничих виробок

До буропідричних робіт під час проведення горизонтальних, похилих і вертикальних виробок, а також камер пред'являються такі вимоги

висока безпека, тобто роботи треба вести так, щоб була забезпечена безпека людей і зберігання застосовуваного устаткування;

правильне оконтурювання порожнини гірничої виробки, тобто вибухом заряду оконтурити порожнину так, щоб фактична форма і розміри її були близькі до проектних. Критерієм цієї вимоги є коефіцієнт надлишку перерізу (КНП), що представляє відношення фактичної площі поперечного перерізу виробки у проходці $S_{ф.пр}$ до площі проектного поперечного перерізу начорно $S_{нч}$.

$$КНП = S_{ф.пр} / S_{нч}, \quad (7.4)$$

Нормативне значення $КНП = 1,03 \dots 1,05$. Вибій горизонтальних, похилих і вертикальних виробок після підричних робіт повинен мати мінімум нерівностей. Це сприяє підвищенню безпеки робіт, скороченню витрат часу на оббирання вибою і підвищенню продуктивності праці;

одержання високого значення КВШ;

рівномірне дроблення породи на транспортабельні шматки, тобто породу треба роздрібнити так, щоб ступінь дроблення її відповідав параметрам навантажувальних машин – це сприяє їх високій продуктивності;

мінімальне зниження природної міцності порід у законтурному масиві;

витрати часу і вартісні показники буропідричних робіт, віднесені до 1м виробки, тобто питомі витрати повинні бути мінімальними.

7.5. Паспорт буропідричних робіт

Заряди ВР підривають у суворій відповідності з технічною документацією (проектами, паспортами та ін.). Кожен вибір повинен мати окремий паспорт буропідричних робіт.

Паспорт БПР являє собою інструктивну карту, що регламентує порядок проведення буропідричних робіт. Підричання зарядів треба здійснювати за паспортом БПР, з яким під розпис повинен ознайомитися персонал, що виконує буропідричні роботи.

Паспорт БПР складається на підставі результатів розрахунку та не менше трьох дослідних підричків начальником дільниці, на якій ведуться підричні роботи, чи його помічником, узгоджується з начальниками дільниць БПР і ППС і затверджується головним інженером шахти.

Паспорт – це технологічний закон, котрий не може бути довільно змінений. Паспорт БПР повинен містити:

- найменування виробки, площу її перерізу у світлі і начорно, міцність порід (вугілля);

- схему розташування шпурів у трьох проекціях у масштабі 1:50 чи 1:100; на схемі повинні бути зазначені розміри, потрібні бурильнику при розмітці шпурів на вибої виробки, а також мінімальні відстані між зарядами ВР;

- кількість, діаметри, довжини і глибини шпурів;

- кути нахилу шпурів до вибою;

- найменування ВР і ЗІ;

- конструкцію шпурового заряду ВР;

- масу і конструкцію заряду ВР кожного шпуру і усього вибою в цілому;

- схему монтажу підричної мережі;

- кількість серій уповільнення і послідовність підричання зарядів;

- матеріал набійки і її довжину;

- вид і схему створення запобіжного середовища;

- вказівки про місце укриття майстра-підричника і робітників на час виконання вибухових робіт;

- схему і час провітрювання виробок після підричання до початку відновлення робіт прохідницького циклу;

- дані про розташування постів оточення і місце укриття майстра-підричника і робітників.

У окремих випадках (через зміну гірничо-геологічних та інших умов) з дозволу особи технічного нагляду, що здійснює безпосереднє керівництво підричними роботами, допускається зменшення маси і кількості зарядів у порівнянні з показниками, передбаченими паспортом.

Разові вибухи зарядів у шпурах для доведення контурів виробки до розмірів, передбачених проектом, видалення навісів, вирівнювання вибою, підричання ґрунту виробки,

розширення виробки при перекріпленні, а також з метою ліквідації відкасів дозволяється робити за схемами. Схеми складаються і підписуються особою технічного нагляду, що здійснює безпосереднє керівництво БПР. У схемі вказуються розташування шпурів, маса і конструкція зарядів, місця розташування постів і укриття майстра-підричника, заходи безпеки.

Розділ 8*

Розрахунки паспортів буропідричних робіт

Кінцевий результат розрахунку – визначення кількості шпурів на вибій і складання схеми їх розташування. Береться наступне принципове положення: кількість шпурів на одиницю об'єму маси, що підривається, буде тим більше, чим міцніші породи, чим слабкіша ВР і нижча її густина і чим менша площа перерізу виробки. Кількість шпурів у вибої знаходиться в прямій залежності від кількості ВР, потрібної для руйнування даного об'єму породи.

Академіки М.О. Садовський і В.М. Родіонов, які внесли значний вклад у теорію руйнування гірських порід вибухом, вважають, що хоча інженерами (військовими і цивільними) накопичений досвід розрахунку зарядів, проте дотепер немає ні теорії дії вибуху, ні досить точних емпіричних формул: навіть для вибуху одиничного заряду задача про рух середовища настільки складна, що розрахунком не вдається одержати надійні кількісні результати. Картина ще більш ускладнюється, якщо підривається група зарядів.

Тому застосовується спрощений метод розрахунку. Його вихідні передумови: раціональна місткість ВР одного шпуру, визначення якої особливих труднощів не викликає, а також установлена практикою вибухової справи питома витрата ВР, тобто та її кількість, яка потрібна для руйнування одиниці об'єму гірської породи в масиві.

8.1. Розрахунок заряду для одиничного шпуру

Масу заряду, кг, для одиничного шпуру можна визначити за формулою

$$q_{\text{ш}} = l'_{\text{ш}} k_{\text{зап}} \gamma_{\text{зар}}, \quad (8.1)$$

де $l'_{\text{ш}}$ – довжина шпуру, м;

$k_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення шпуру вибуховою речовиною (береться за даними практики, $k_{\text{зап}}=0,4\dots0,6$);

$\gamma_{\text{зар}}$ – маса 1 м шпурового заряду, кг

$$\gamma_{\text{зар}} = \Delta_{\text{ВР}} l_{\text{зар}} \pi d_{\text{п}}^2 / 4, \quad (8.2)$$

де $d_{\text{п}}$ – діаметр патрона (заряду) ВР, м;

$\Delta_{\text{ВР}}$ – густина ВР, кг/м³;

$l_{\text{зар}}$ – довжина заряду, м.

* Дана глава написана при участі інженерів А.А. Бородулі і І.В. Купенка.

При розрахунках зручніше користуватися не довжиною шпурів, а глибиною. Через те, що кути нахилу шпурів до вибою знаходяться в межах $70...90^\circ$ і більшість з них є відбійними, то середнє значення кута нахилу для комплексу шпурів становитиме $80...85^\circ$ і $\sin\alpha$ у формулі (8.1) буде дорівнювати $0,98...0,99$, тобто близько до одиниці. Тому $l_{\text{ш}} \approx l'_{\text{ш}}$. Тоді підставимо в рівняння (8.1) значення $\gamma_{\text{зар}}$ з формули (8.2) та одержимо

$$q_{\text{ш}} = \Delta_{\text{ВВ}} l_{\text{ш}} k_{\text{зап}} \pi d_{\text{п}}^2 / 4. \quad (8.3)$$

Дуже важливий у цій формулі коефіцієнт заповнення шпуру, оскільки від його правильного вибору залежить ефективність і безпека підривних робіт.

8.2. Розрахунок параметрів підривних робіт для вибоїв гірничих виробок з однією відкритою поверхнею

Порядок розрахунку розглянемо для вибоїв польових виробок, тобто для вибоїв з однорідними породами. З урахуванням гірничо-геологічних умов (коефіцієнта міцності порід, їх обводненості, наявності метану і вугільного пилу), у яких проводиться виробка, визначають вибухову речовину і засоби ініціювання. Розрахунковим шляхом на підставі результатів досвіду чи за таблицями (наприклад, за табл. 8.1) знаходять довжину заходки і КВШ. Довжину, м, заходки можна установити за організаційними факторами, виходячи з нормативної (заданої) швидкості $v_{\text{м}}$, м/міс, проведення гірничої виробки за формулою

$$l_{\text{зах}} = \frac{v_{\text{м}} T_{\text{ц}}}{n_{\text{дн}} T_{\text{доб}}}, \quad (8.4)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість прохідницького циклу (кратна тривалості зміни, що дорівнює 6 год.);

$n_{\text{дн}}$ – кількість робочих днів прохідницької бригади на місяць (25 днів, а для стволів – 30);

$T_{\text{доб}}$ – кількість часів роботи ланок прохідницької бригади за добу (береться 24 год.).

Таблиця 8.1. Рекомендовані значення $l_{\text{зах}}$ і КВШ

Виробки	f	$l_{\text{зах}}, \text{м}$	КВШ
Стволи шахтні ($S_{\text{нч}} = 20...50 \text{ м}^2$)	>12	2,5...3,5	0,80...0,90
Горизонтальні і похилі виробки ($S_{\text{нч}} = 4...20 \text{ м}^2$)	12...3	1,5...3,0	0,80...0,90
	20...6	1,2...2,0	0,80...0,85

Довжина заходки повинна бути кратною (якщо можливо) кроку установлення кріплення (у стволах – висоті пересувної опалубки). Визначають глибину шпурів

$$l_{\text{ш}} = l_{\text{зах}} / \eta, \quad (8.5)$$

де η – КВШ.

Обсяг породи, що руйнується за одне підривання

$$V_{\text{зах}} = S_{\text{вч}} l_{\text{зах}}, \quad (8.6)$$

де $S_{\text{вч}}$ – площа поперечного перерізу виробки начорно, м^2 ;

Питому витрату ВР, тобто кількість, необхідну для дроблення 1 м^3 породи, що знаходиться в щільному тілі, і викиду її за межі вирви вибуху, $\text{кг}/\text{м}^3$, можна підрахувати за формулами Протодьяконова і Покровського.

Формула Протодьяконова має вигляд:

$$q = 0,4 \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{S_{\text{вч}}}} \right)^2 e^{-1} k, \quad (8.7)$$

де f – коефіцієнт міцності породи;

$e^{-1} = 525 / P_{\text{ВР}}$ – коефіцієнт, що враховує працездатність ВР;

$P_{\text{ВР}}$ – працездатність ВР, взятої для проведення підривних робіт, см^3 ;

525 см^3 – працездатність 93%-вого динаміту, прийнятого за еталонну ВР;

k – коефіцієнт збільшення витрати ВР для дрібнішого дроблення породи (при навантаженні породи важкими навантажувальними машинами 1-ПНН-5 слід брати $k = 1 \dots 1,1$, а при навантаженні породи більш легкими машинами чи машинами типу нагрібні лапи $k = 1,2 \dots 1,3$).

Формула (8.7) дає задовільні результати у досить широких межах міцності порід, якщо площа вибоїв від 3 до 15 м^2 , але при довжині шпурів не більше $0,6B$, де B – ширина, м, виробки по низу.

Формула Покровського має вигляд

$$q = q_1 s V e, \quad (8.8)$$

де $q_1 = 0,1f$ – питома нормативна витрата ВР;

s – коефіцієнт текстури породи (при в'язких пружних породах $s=2$; із дрібною тріщинуватістю $s = 1,4$; зі сланцевим заляганням з нашаруванням, перпендикулярним напрямку шпуру $s = 1,3$);

V – коефіцієнт затиску порід,

$$V = 3l_{\text{ш}} / \sqrt{S_{\text{вч}}}, \quad (8.9)$$

де $e = 380 / P_{\text{ВР}}$ – коефіцієнт, що враховує працездатність ВР;

380 см^3 – працездатність 62%-вого динаміту, взята Покровським за еталонну ВР.

Питомі витрати ВР, отримані при підрахунках за формулами Протодіяконова і Покровського, трохи відрізняються одна від одної. Їх варто порівняти з нормативними (табличними) даними (табл. 8.2) і брати для подальших розрахунків найближче до табличних значень розрахункове. Якщо табличні дані відсутні – отримане за універсальнішою формулою (8.8) проф. М.М. Покровського, чи середнє з двох отриманих.

Визначають витрату ВР, кг, на заходку

$$Q_{\text{зах}} = qV_{\text{зах}}, \quad (8.10)$$

та розраховують кількість шпурів на вибій

$$N = \frac{1,27qS_{\text{нч}}^3}{\Delta_{\text{ВВ}}d_{\text{п}}^2k_{\text{зап}}}. \quad (8.11)$$

Одержане значення округляють до цілого та пов'язують з технологією буріння. Знаходять: масу шпурових зарядів

$$q_{\text{ш.р.}} = Q_{\text{зах}} / N \quad (8.12)$$

та кількість патронів ВР у шпурі

$$n_{\text{п}} = q_{\text{ш.р.}} / q_{\text{п}}, \quad (8.13)$$

де $q_{\text{п}}$ – маса одного патрона ВР, кг.

Досить часто при діленні розрахункової маси шпурового заряду на масу патрона виходить не ціла кількість патронів ВР у шпурі. У зв'язку з тим, що різати патрони ВР при заряджанні шпурів не дозволяється, необхідно округляти знайдене значення до цілої кількості, а потім уточнювати масу шпурового заряду:

$$q_{\text{ш.ут}} = q_{\text{п}}n_{\text{п.ут}}. \quad (8.14)$$

Якщо $q_{\text{ш.ут}}$ відрізняється від $q_{\text{ш.р}}$ більше ніж на 5%, то варто скорегувати кількість шпурів, зберігши розрахункову витрату ВР на заходку, тобто

$$N_{\text{ут}} = Q_{\text{зах}} / q_{\text{ш.ут}}. \quad (8.15)$$

Уточнюють витрату, кг, ВР на заходку

$$Q_{\text{зах.ут}} = q_{\text{ш.ут}}N, \quad (8.16)$$

та визначають довжину набійки, м

$$l_{\text{заб}} = l_{\text{ш}} - l_{\text{зар}} = l_{\text{ш}} - l_{\text{п}}n_{\text{п.ут}}, \quad (8.17)$$

де $l_{\text{п}}$ – довжина одного патрону ВР, м.

При цьому відповідно до “Єдиних правил безпеки при підривних роботах” треба дотримуватися умови: $l_{\text{заб}} \geq 0,5$ м. Якщо вона не дотримується, треба збільшити довжину шпурів, залишивши попередній заряд у шпурах, або збільшити кількість шпурів і розподілити ВР на всі шпури.

Вибирають тип підривного врубу відповідно до міцності порід, її текстури, розмірів і конфігурації забою, довжини заходки, наявності виділення метану і вибухового вугільного пилу (див. гл. 9). Складають схему розташування шпурів у вибої (див. § 8.6). Складають і уточнюють проведенням не менше трьох дослідних підривань паспорт БПР. Якщо КВШ постійно менший за нормативний, змінюють вибуховий вруб чи зменшують глибину шпурів, збільшують витрату ВР та ін.

Розрахунок параметрів для вибоїв пластових виробок з однією відкритою поверхнею, тобто які проводяться з одночасним вийманням вугілля і породи, здійснюють за цією ж схемою, враховуючи наступне:

окремо розраховують q і всі інші параметри для вугільного пласту, верхнього і нижнього породних підривань;

при визначенні параметра q за $S_{\text{пч}}$ приймають загальну площину перерізу виробки, а не площу вугільного вибою чи породних підривань;

за коефіцієнт f беруть міцність тієї частини гірського масиву, для якої виконується розрахунок (вугілля, порід верхнього і нижнього підривань).

8.3. Розрахунок параметрів підривних робіт для вибоїв гірничих виробок із двома відкритими поверхнями

Порядок розрахунку розглянемо на прикладі проведення пластових виробок. Під час проведення пластової виробки, наприклад, пластового штреку, з роздільним вийманням вугілля і породи вибій підрозділяють на два – вугільний і породний. Насамперед виймають м'якшу породу, тобто вугілля, потім – міцнішу (від підривання уступів). Для розпушування гірських порід у штреку застосовують запобіжні ВР не нижче IV класу й електродетонатори миттєвої (ЕДКУ-0П) і короткоуповільненої (ЕДКУ-ПМ) дії. Вугільний вибій має одну відкриту поверхню, а породні уступи - по дві (рис.8.1).

Порядок і метод розрахунку паспорта БПР по вугіллю такий же, як і для вибоїв польових виробок з однією відкритою поверхнею. Однак при визначенні питомої витрати ВР за формулами (8.7) і (8.9) за параметр $S_{\text{пч}}$ слід брати площу вугільного вибою.

Довжину заходки приймають за табл. 8.1, за даними досліду чи підраховують за формулою (8.4), виходячи з місячної швидкості проведення виробки. У всіх випадках довжина заходки по вугіллю повинна бути, згідно з “Єдиними правилами безпеки при підривних роботах” не більша за 2 м. При проведенні вентиляційних штреків слідом за лавою вона повинна дорівнювати посуванню вибою лави за один цикл проходки (наприклад за добу).

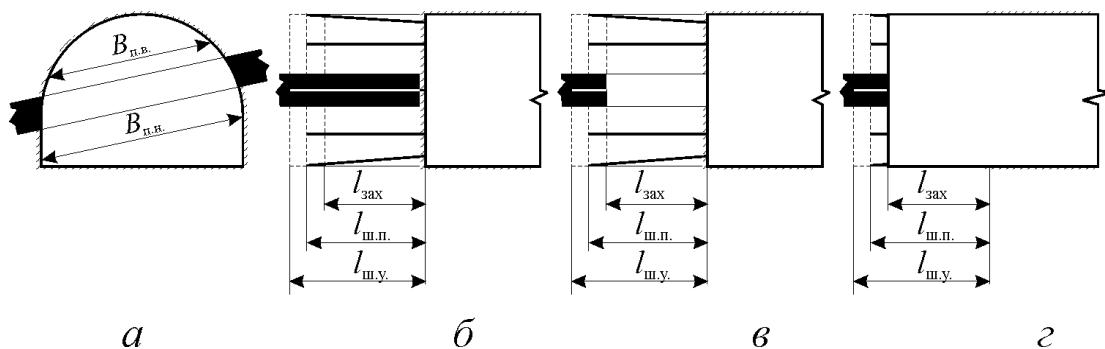


Рис. 8.1. Розрахункова схема для визначення параметрів БПР у пластовому штреку:
 а – поперечний переріз штреку; б, в, г – повздовжній переріз штреку із схемою шпурів по вугіллю і породі; з розташуванням шпурів по породі (виймання вугілля на ділянці здійснено), вугілля і порода винуті (на рисунку показані стакани)

Довжина, м, заходки по породі однакова з довжиною заходки по вугіллю. Оскільки $l_{\text{зах.п}} = l_{\text{зах.у}}$, то

$$l_{\text{ш.п}} = l_{\text{зах.у}} / \eta_{\text{п}}. \quad (8.18)$$

Порядок розрахунку параметрів паспорту БПР по породі такий же, як і для вибоїв польової виробки з однією відкритою поверхнею. Однак метод розрахунку питомої витрати ВР дещо відрізняється.

Питому витрату, кг/м^3 , ВР для нижнього і верхнього підривань розраховують:

а) за формулою Протодьяконова

$$q_{\text{п}} = 0,15 \sqrt{f_{\text{п}}} \left(\sqrt{0,2 f_{\text{п}}} + \frac{1}{B_{\text{п}}} \right) e^{-1\kappa}, \quad (8.19)$$

де $f_{\text{п}}$ – коефіцієнт міцності порід підривання;

$B_{\text{п}}$ – ширина породного підривання, м, визначається графічно на ескізі поперечного перерізу виробки, паралельно випереджаючій порожнині на середній відстані від неї до контуру виробки (див. рис. 8.1, а).

Інші параметри аналогічні параметрам для польової виробки.

б) за формулою Покровського

$$q = q_{1\text{п}} s_{\text{п}} V_{\text{п}} e, \quad (8.20)$$

де $q_{1\text{п}} = 0,1 f_{\text{п}}$ – нормальна питома витрата ВР;

$s_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що враховує текстуру порід підривання (беруть, як і у випадку вибоїв польової виробки);

$V_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що враховує затиск гірських порід (для порід ґрунту, тобто нижнього підривання $V_{\text{п}}=1,6$, для порід покрівлі $V_{\text{п}}=1,2$, для бічних порід, на пластах крутого падіння $V_{\text{п}}=1,4$).

Параметр “ e ” визначається, як і для розрахунку польової виробки.

8.4. Розрахунок параметрів підривних робіт для вибою лави

Відбій вугілля у вибої лави за допомогою буропідривних робіт застосовують в основному під час виймання антрацитів для одержання більшого виходу фракції "плита". Вона виконується після машинного підрублювання вугільного пласта. Щоб підрубане вугілля місцями не обвалилося до вибуху і не закрило зарубну щілину, у неї забивають дерев'яні клини-підшашки (рис.8.2).

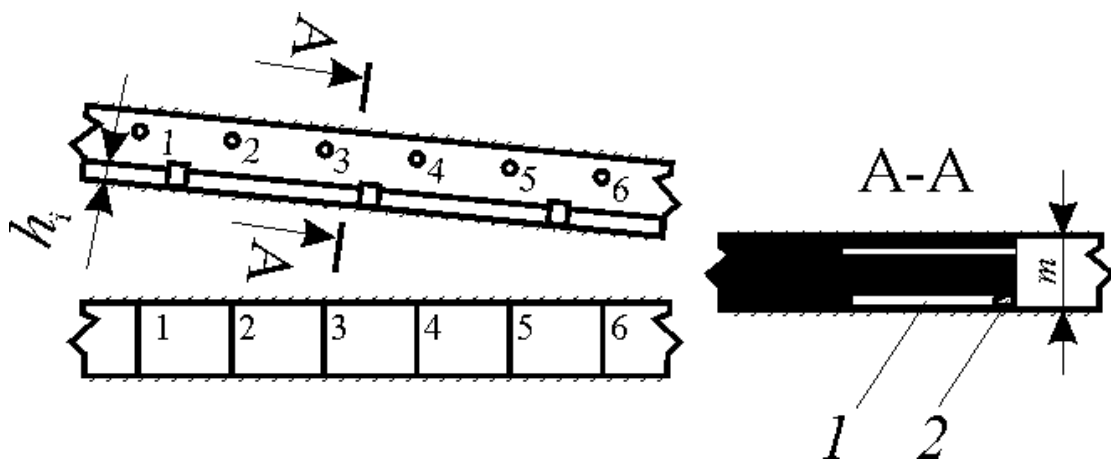


Рис. 8.2. Схема до розрахунку зарядів для вибою лави:

1 – підшашки; 2 – зарубна щілина

Довжину заходки беруть такою, що чисельно дорівнює довжині бару врубової машини $l_{\text{вр}}$ (стандартні довжини врубів 1,6, 1,8 і 2,2 м).

Глибина шпурів

$$l_{\text{ш}} = l_{\text{зах}} / \eta = l_{\text{вр}} / \eta . \quad (8.21)$$

Вугільний вибій має дві відкриті поверхні і тому питому витрату, кг/м^3 , по вугіллю визначають за формулою Протодьяконова для вибоїв із двома відкритими поверхнями

$$q_{\text{в}} = 0,15 \sqrt{f_{\text{в}}} \left(\sqrt{0,2 f_{\text{в}}} + \frac{1}{L_{\text{л}}} \right) e^{-1} \kappa , \quad (8.22)$$

де $f_{\text{в}}$ – коефіцієнт міцності вугілля;

$L_{\text{л}}$ – довжина вибою лави, м.

Таблиця 8.2. Нормативні значення питомих витрат ВР для підземних виробок

Класифікація порід за. Протоцьяконо- вим		Вибухова речовина	Площа перерізу в прохідці, м ²										
			горизонтальної і похилої виробки					вертикального ствола					
Категорія по- рід	Коефіцієнт мощності <i>f</i>		4...6	7...9	10...12	13...15	16...20	21...25	26...30	31...36	36...40	41...45	46...55
I	18...20	Скельний амонал пресований №1 Амоніт 63В	3,68 4,8	3,38 4,4	3,12 4,07	2,87 3,74	2,63 3,43	2,45 3,2	2,13 2,79	2,00 2,6	1,85 2,42	1,68 2,2	1,5 2,1
II	13...15	Скельний амонал пресований №1 Амоніт 63В	3,06 4,0	2,8 3,64	2,56 3,35	2,43 3,17	2,30 2,97	2,03 2,68	1,86 2,42	1,73 2,31	1,6 2,09	1,44 1,87	1,35 1,75
III...IIIa	8...10	Скельний амонал пресований №1	2,32	2,12	1,94	1,81	1,65	1,52	1,35	1,24	1,15	1,06	1,0
		Амоніт 63В	3,01	2,75	2,56	2,37	2,16	1,98	1,76	1,62	1,5	1,4	1,3
		Амоніти ПЗВ-20 і Т-19	3,92	3,58	3,29	3,07	-	-	-	-	-	-	-
		Амоніт АП-53В	3,2	2,92	2,68	2,5	-	-	-	-	-	-	-
IV...IVa	5...6	Скельний амонал пресований №1	1,04	1,33	1,22	1,14	1,03	0,93	0,86	0,78	0,73	0,68	0,65
		Амоніт 63В	1,87	1,74	1,6	1,5	1,35	1,21	1,12	1,02	0,95	0,88	0,85
		Амоніт ПЗВ-20 і Т-19	2,43	2,26	2,07	1,95	-	-	-	-	-	-	-
		Амоніт АП-53В	1,98	1,85	1,68	1,58	-	-	-	-	-	-	-
V...Va	3...4	Амоніт 63В	1,14	1,06	1,0	0,93	0,86	0,77	0,7	0,65	0,6	0,56	0,52
		Амоніти ПЗВ-20 і Т-19	1,49	1,37	1,29	1,2	-	-	-	-	-	-	-
		Амоніт АП-53В	1,36	1,25	1,18	1,1	-	-	-	-	-	-	-
VI...VIa	1,5...2	Амоніт 63В	0,7	0,64	0,6	0,55	0,51	0,46	0,42	0,37	0,35	0,38	0,35
		Амоніти ПЗВ-20 і Т-19	0,92	0,83	0,77	0,72	-	-	-	-	-	-	-
		Вугленіт Е-6	1,6	1,44	1,58	1,25	-	-	-	-	-	-	-

Витрату ВР, кг, на одну заходку визначають з виразу:

$$Q_{\text{зах.р}} = q_{\text{в}} V_{\text{в}} = q_{\text{в}} L_{\text{л}} (m - h_1) l_{\text{зах}}, \quad (8.23)$$

де $V_{\text{в}}$ – об'єм вугілля, відбиваного на дільниці заходки, м^3 ;

m – потужність вугільного пласта, м;

h_1 – висота зарубної щілини, м.

Масу заряду ВР одного шпуру по вугіллю визначають за виразом (8.3), уточнюють округленням до цілої кількості патронів у шпурі $q_{\text{ш.в.}}$.

Кількість шпурів у вибої обчислюють за виразом (8.24) і округляють до цілого значення

$$N = Q_{\text{зах}} / q_{\text{ш.ут}}. \quad (8.24)$$

Уточнюють загальну витрату ВР, кг, на лаву

$$Q_{\text{зах.ут}} = q_{\text{ш.ут}} N. \quad (8.25)$$

Відстань між шпурами у вибої лави визначають за формулою

$$a = L_{\text{л}} / N. \quad (8.26)$$

На практиці на антрацитових пластах без прошарків породи відстань між шпурами у ряду у межах 1,8...2,5 м.

8.5. Розрахунок параметрів підричних робіт для вибоїв бутових штреків

У випадку управління покрівлею повним або частковим закладенням, а також для підтримки відкаточних штреків під час суцільної системи розробки без охоронних ціликів у лаві викладають бутові смуги. Для цього слідом за посуванням лави проводять бутові штреки з підриванням покрівлі, а у дуже міцних породах в покрівлі, іноді підривають підосхву.

Враховуючи параметри бутової смуги, надану паспортом управління покрівлею в лаві, а також текстурні особливості її порід покрівлі, визначають розміри підривання за умови рівності об'єму породи, потрібного для викладки 1 м бутової смуги (у розпушеному стані) і об'єму, який отримують у результаті підривання (рис. 8.3):

$$L_{\text{б}} m = B_{\text{б}} \epsilon_{\text{б}} k_{\text{р}}, \quad (8.27)$$

де $L_{\text{б}}$ – ширина бутової смуги, м;

m – потужність вугільного шару, м;

$k_{\text{р}}$ – коефіцієнт розпушуваності породи;

$B_{\text{б}}$ – ширина бутового штреку, м;

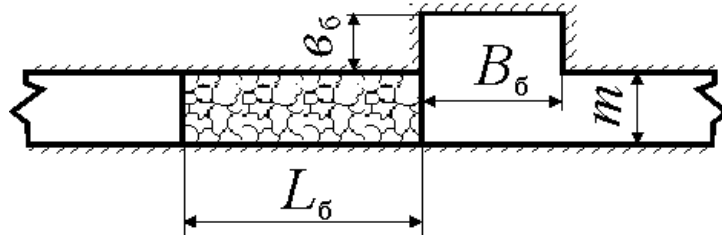


Рис. 8.3. Схема до розрахунку зарядів вибою бутового штреку

e_6 — висота підбивання, м.

За висотою підбивання породи в бутовому штреку, визначимо його ширину, м (на практиці 0,6...1,6 м)

$$B_6 = L_6 m / e_6 k_p. \quad (8.28)$$

Посування вибою бутового штреку за добу беруть таким, що дорівнює добовому посуванню вибою лави, м, тобто

$$l_{\text{зах}} = l_{\text{д.п.л.}}. \quad (8.29)$$

Глибина, м, шпурів для підбивання порід у штреку

$$l_{\text{ш}} = l_{\text{зах}} / \eta = l_{\text{с.п.л.}} / \eta. \quad (8.30)$$

Вибій у бутовому штреку має дві відкриті поверхні, тому $\eta=0,9$.

Питому витрату ВР, кг/м³, визначають за формулою Протодьяконова, як для вибоїв із двома відкритими поверхнями (8.19) за параметр $B_{\text{п}}$ беруть B_6 .

Витрата ВР, кг, на заходку

$$Q_{\text{зах.р}} = q_6 B_6 e_6 l_{\text{зах}}. \quad (8.31)$$

Масу заряду шпуру обчислюють за виразом (8.3) і округляють до цілої кількості патронів $q_{\text{ш.ут.}}$. Кількість шпурів визначають за формулою (8.25) і округляють до цілого.

Залежно від висоти підбивання, ширини штреку, міцності порід і працездатності ВР бурять від двох до чотирьох шпурів. Уточнюють загальну витрату ВР на вибій

$$Q_{\text{зах.ут.}} = q_{\text{ш.ут.}} N. \quad (8.32)$$

Підбивні роботи в бутових штреках у шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, особливо небезпечні. У багатьох лавах безпосередня покрівля осідає, у ній утворюються вертикальні і горизонтальні тріщини, які нерідко заповнені метаноповітряною сумішшю. Під час вибуху зарядів, які перерізають такі тріщини, суміш може спалахнути і полум'я проникне у вироблений простір. За таких умов шпури необхідно розташовувати так, щоб вони не перерізали видимі тріщини і не знаходилися ближче 30 см від них.

8.6. Основні правила складання схеми розташування шпурів

Розташування шпурів у вибої має вирішальне значення у практиці підричних робіт і особливо у вибоях з однією відкритою поверхнею, у яких умови для руйнування масиву гірських порід надто важкі. Тому для виконання вимог, що ставляться до підричних робіт, і отримання задовільних результатів схему розташування шпурів треба вибирати з урахуванням конкретних умов проведення БПР. Основні правила складання схеми розташування шпурів наступні.

Звичайно розробляють кілька схем розташування шпурів, які найкраще відповідають фізико-хімічним властивостям порід, що руйнуються, і в процесі випробувань обирають найліпшу схему за витратою ВР, КВШ і трудовим витратам на буріння.

При побудові схеми розташування шпурів знайдене за формулою (8.11) чи (8.15) значення можна коректувати і змінювати, виходячи з умов більш доцільного їх розміщення у вибої. Заряди, визначені за формулою (11.14), можуть бути диференційовані залежно від типу шпурів множенням на наступні поправкові коефіцієнти: врубових – на 1,20...1,25; допоміжних, передконтурних і нижніх оконтурювальних – на 1; бічних і верхніх оконтурювальних – на 0,8...0,9. Установлені значення округляють до цілого числа патронів. Усі згадані коректування доцільно виконати, зберігши розрахункову витрату ВР на заходку, встановлену за формулою (8.16).

За площею поперечного перерізу виробки на передбачуваній площині відриву породи (на глибині $l_{\text{зах}}$) усі шпурові заряди (крім врубових) повинні розташовуватися рівномірно. Нижче наведений приблизний порядок розрахунків, виконаних при зіставленні схеми розташування шпурів для вибою польового виробки аркової форми поперечного перерізу з однією відкритою поверхнею.

Спочатку визначають площу, м^2 , поперечного перерізу, що припадає на один шпур (крім врубових)

$$S_{\text{р}} = \frac{S_{\text{нч}} - S_{\text{вр}}}{N - N_{\text{вр}}}, \quad (8.33)$$

де $S_{\text{нч}}$ – площа поперечного перерізу виробки начорно, м^2 ;

$S_{\text{вр}}$ – площа поперечного перерізу врубової порожнини (визначають за мінімальною відстанню між врубовими шпуровими зарядами), м^2 ;

N – загальна кількість шпурів на заходку;

$N_{\text{вр}}$ – кількість врубових шпурів.

Потім знаходять середню відстань, м , між шпуровими зарядами (крім врубових) за формулою

$$a_{cp} = \sqrt{4Sr/p}, \text{ або } a_{cp} = \sqrt{Sr}. \quad (8.34)$$

Обчислюють кількість шпурів по підшві виробки

$$N_{\Pi} = (l_1 / a_{cp}) + 1, \quad (8.35)$$

на контурі виробки (без урахування шпурів по підшві)

$$N_{\kappa} = (P_{\kappa} / a_{cp}) + 1, \quad (8.36)$$

де l_1 – ширина виробки начорно по підшві, м;

P_{κ} – довжина лінії контуру поперечного перерізу виробки, м (без підшви)

$$P_{\kappa} = pR_{\kappa} + 2(H - R_{\kappa}), \quad (8.37)$$

де R_{κ} – радіус кривизни арки начорно (беруть $B/2$, де B – ширина виробки внизу начорно), м;

H – висота виробки начорно, м.

Кількість шпурів у передконтурному ряді (без урахування шпурів по підшві)

$$N_{\kappa} = (P_{\Pi\kappa} / a_{cp}) + 1, \quad (8.38)$$

де $P_{\Pi\kappa}$ – довжина лінії, по якій розташовують шпури передконтурного ряду, м,

$$P_{\Pi\kappa} = p(R_{\kappa} - a_{cp}) + 2(H - R_{\kappa}). \quad (8.39)$$

Допоміжні шпури розташовують у один чи два ряди рівномірно, орієнтуючись на a_{cp} , за площею поперечного перерізу виробки, що залишилася:

$$N_{всп} = N - (N_{вр} + N_{\Pi} + N_{\kappa} + N_{\Pi\kappa}). \quad (8.40)$$

При складанні схеми враховують напрямок шаруватості і тріщинуватості порід. Якщо стінки шпуру будуть однакової міцності по всій довжині, то утворення газів передбачається досить повним, а їх тиск буде спрямований на корисну роботу. Якщо ж напрямок пробуреного шпуру збіжиться з напрямком шарів чи тріщин, то міцність стінок у місцях збігу буде ослаблена і гази, що утворюються при вибуху, частково або цілком вийдуть між шарами чи по тріщинах, різко знижуючи ефект вибуху.

Оскільки площа вибою практично ніколи не буває рівною, фактична довжина шпурів може бути неоднаковою. Тому незалежно від кута нахилу шпури повинні закінчуватися на однаковій глибині в масиві породи і вугілля. Неправильне розташування шпурів призведе до псування вибою і до утворення великих порогів неправильного перерізу. Це знизить ефективність і безпеку підричних робіт, а також підвищить трудомісткість. Тільки глибину врубових шпурів можна брати на 0,1...0,3 м (залежно від міцності порід) більше за глибину відбійних і оконтурювальних шпурів.

Вибір схеми розташування шпурів, крім зазначених факторів, зумовлюється зручністю розміщення бурового устаткування і самого процесу буріння. Треба прагнути до того, щоб врубові, передконтурні і допоміжні шпури розташовувалися у відповідних горизонтальних і вертикальних площинах, проведених через оконтурювальні шпури. Останні слід роз-

ташовувати і бурити в такому напрямку, щоб виключити буріння підбурків для вирівнювання периметра виробки після підривання основного комплекту шпурових зарядів і не робити великого перебирання породи за проектним периметром виробки. У всіх випадках оконтурювальні шпури необхідно забурювати приблизно в 0,1...0,3 м (як правило, у 0,20...0,25 м) від покрівлі і боків виробки. Причому в міцних породах дно шпуру може виходити за проектний контур виробки не більше ніж на 0,15...0,20 м. У породах середньої міцності дно оконтурювальних шпурів повинно знаходитися на проектній лінії контуру виробки, а в породах нижче середньої міцності їх слід розташовувати майже паралельно контуру.

Для вибоїв із двома відкритими поверхнями схему розташування шпурів вибирають графічним методом. На ескізі поперечного перерізу виробки по породному підриванню на відстані не менш 0,3 м від границі з випереджаючою порожниною проводять лінію, на якій розміщують шпури на відстані один від одного не менше припустимої Єдиними правилами безпеки під час підривних робіт (див. табл. 10.1). На практиці ця відстань коливається у межах 0,4...1,3 м залежно від міцності порід, працездатності ВР і діаметра патронів. Подібним чином розміщують шпури уздовж контуру (нижнього, верхнього чи обох) виробки. Якщо необхідно і дозволяють відстані, то частину шпурів розташовують між цими двома рядами.

8.7. Особливості розрахунку параметрів БПР при проходці вертикальних шахтних стволів

Виконання підривних робіт у вертикальних стволах специфічне у зв'язку із близькістю постійного кріплення і прохідницького обладнання, підтопленням вибою водою із завислими мілкими частинами породи, варіаціями властивостей перетинаних порід та ін. Під час проходки стволів питома маса БПР у загальному об'ємі прохідницького циклу становить від 25...30% при коефіцієнті міцності порід до 8 і 40...50% - якщо понад 10 за шкалою Протодьяконова.

Важливі показники ефективності БПР у вертикальних стволах:

коефіцієнт використання шпурів (оптимальний 0,85...0,95), який визначає питомі витрати на 1 м посунення вибою;

коефіцієнт надлишку перерізу (КНП) за БНіП, пов'язаний з об'ємом породи, яку виймають, і перевитратою бетону;

гранулометричний склад підірваної породи, який впливає на час її прибирання (рекомендований розмір найбільшої грудки – до 40 см).

Головні параметри підричних робіт при проходці й поглибленні шахтних стволів як і у випадку горизонтальних виробок: питома витрата ВР, кількість і глибина шпурів. Порядок їх розрахунку аналогічний порядку розрахунку для польової виробки, однак має деякі особливості.

У стволах, де спостерігається виділення метану чи утворення вибухового вугільного пилу, застосовують ВР класів III чи IV. При підтопленні водою вибоїв таких стволів перед підриванням на висоту не менше 20 см, а також при проходці стволів, у шахтах, які не небезпечні щодо газу чи пилу, допускається застосовувати ВР класу II, причому у породах міцністю 8 і вище – амоніт скельний №1 пресований у патронах діаметром 45 мм, а у породах середньої міцності – амоніт 63В у патронах діаметром 36 мм. За набійку звичайно беруть граншлак і гідронабійку безпосереднім заливанням водою шпурів.

Глибина шпурів, $l_{\text{ш}}$ визначається міцністю порід, рівнем механізації, припустимим значенням незакріпленого відходу. При зменшенні глибини шпурів питомі витрати часу на посунення вибою на 1 м збільшуються: від 3,5 год при $l_{\text{ш}} = 4 \dots 4,2$ м до до 6 годин при $l_{\text{ш}} \leq 2$ м.

Із зростанням глибини шпурів збільшується час другої фази прибирання породи, яка менш за все механізована.

Таким чином, на довжину шпура впливають як гірничо-геологічні, так і організаційно-технічні показники. Враховуючи, що гірничо-геологічні показники пов'язані більше з питомими витратами ВР, довжину шпурів співвідносять тільки з висотою опалубки (як правило 4 м) і припустимим на практиці відходом (до 5 м), і беруть 4 м (для врубкових – 4,2 м). При підвищенні міцності ($f > 12$), така довжина шпурів не виправдовує себе, тому беруть 2,5...3 м.

Питому витрату ВР розраховують за формулою Покровського. Однак найчастіше її визначають за таблицями, складеними на підставі узагальнення практичних даних з підривання з урахуванням міцності порід і перерізу ствола (беруть за БНіП).

Підкреслимо, що різні методики дають співвідношення питомої витрати ВР залежно від ВР (амоналу скельного №1 пресованого).

На практиці ж ефективність усіх видів ВР, окрім амоналу скельного №1, дуже низька, тому що у обводненому вибої усі вони втрачають свої властивості за час набагато менший, ніж час заряджання. Найпростіша формула має вигляд:

$$q = 5,4 / S_{\text{пр}}, \quad (8.41)$$

де q – питома витрата ВР, кг/м³;

$S_{\text{пр}}$ – площа перерізу ствола у проходці, м².

Для об'єму породи, яка руйнується врубовими шпурами, питому витрату ВР слід підвищити на 20%.

Зростання питомої витрати до 40...50% не зменшує грудкуватість підірваної породи, а досягається зворотній ефект, тому що газу розповсюджуючись по тріщинах, які утворились під час підривання перших серій шпурових зарядів, подрібнюють породу у перерізі ствола на великі блоки.

Коефіцієнт заповнення шпурів погоджується з їх кількістю і береться: 0,35...0,45 – у породах міцністю 3...9; 0,45...0,50 – міцністю 10...20.

На швидкісних проходках вертикальних стволів доведена, що найбільш висока ефективність БПР досягається при діаметрі шпурів 52 мм. При цьому витрата ВР знижується на 10...15%, а кількість шпурів скорочується до 50%. Разом з тим коефіцієнт використання шпурів зростає.

Застосовувати шпури діаметром 42 мм раціонально для ряду оконтурювальних шпурів. Однак це призводить до великих втрат часу на прохідницький цикл. Використання ВР діаметром 36 мм, якщо діаметр 52 мм, неприпустимо, тому що патрони за рахунок вільного місця розташовуються неспіввісно, що викликає неповну детонацію заряду.

При проходці вертикальних шахтних стволів керуються тими ж основними правилами розташування шпурів, що й у горизонтальних виробках: усі шпури (за винятком врубових) розташовують на площі вибою ствола рівномірно. У той же час порядок розташування має свої особливості.

Шпури у вибої ствола повинні розташовуватися за трьома-чотирма концентричними колами. Крім того, врубові та оконтурювальні шпури можуть мати допоміжні кола (рис. 8.4). Діаметри концентричних кіл НДІОМШБ рекомендує розраховувати, виходячи з наступних співвідношень:

три кола

$$(0,3; 0,6; 0,95)D_{\text{нч}};$$

чотири кола

$$(0,25; 0,48; 0,72; 0,96)D_{\text{нч}},$$

де $D_{\text{нч}}$ – діаметр ствола начорно, м.

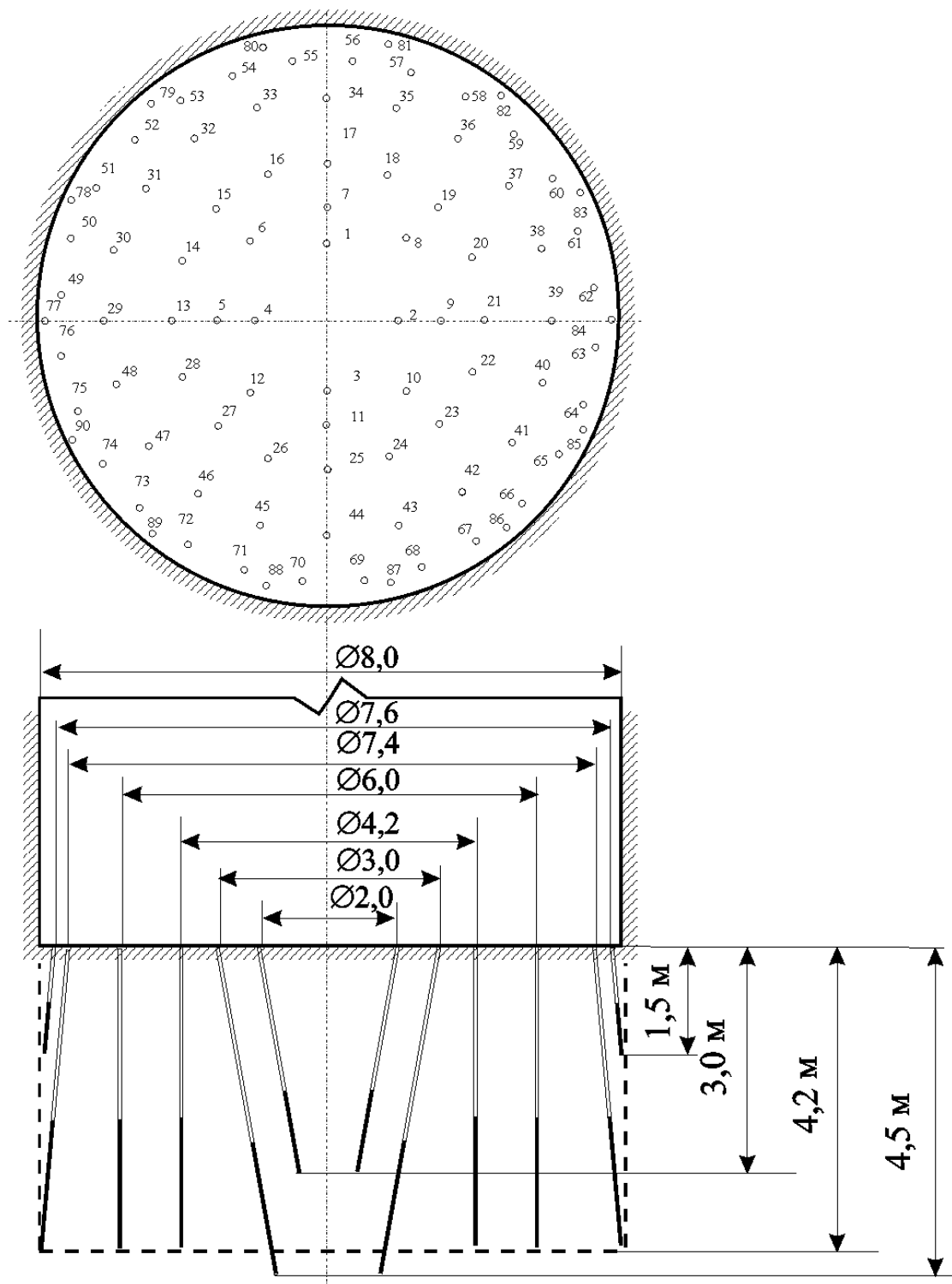


Рис. 8.4. Схема розташування шпурів при проходці вертикального шахтного ствола

Кількості шпурів, розташованих на кожному з цих кіл, співвідносяться між собою, починаючи від центра ствола, як 1:3:6 і 1:2:3:5.

Кількість кіл відбійних шпурів на практиці беруть таким, щоб відстань між ними становила 0,6...0,95 м. При застосуванні патронів ВР збільшеного діаметра вона може бути 1...1,2 м.

Відстань між шпурами повинна виключати можливість підривання одного шпуру іншим з викидом патронів ВР з шпура.

Часті зміни паспортів погіршують організацію робіт у стволі. Рекомендується кількість шпурів і їх розташування не змінювати по всій глибині ствола, а варіювати лише їх довжину, коефіцієнт заповнення, а також питому витрату ВР.

Важливо, що при малих діаметрах ствола затиск забою впливає на ефективність БПР сильніше міцності порід.

Пробурені шпури повинні бути зміщені за колом по відношенню до попереднього циклу без зміни принципової схеми розташування. Розмітку зручно робити за допомогою шаблону.

Кут нахилу оконтурювальних шпурів дорівнює $85...87^{\circ}$. При цьому вибій шпурів не повинен перетинати проектний контур перерізу, а їх устя треба змістити на 10...15 см до центру ствола. Враховуючи, що виконанню цієї вимоги може заважати опалубка при бурінні БУКСом, ручними перфораторами по додатковому концентричному колі бурять короткі шпури (до 1,5 м), цим самим страхуючись від розбирання стін стволу відбійним молотком (кут нахилу роблять менший, але за контур не виходять через малу довжину).

Глава 9

Основні вибухові вруби

У вибоях з однією відкритою поверхнею, щоб одержати високий КВШ при буропідривної технології проведення виробок необхідно створити другу відкриту поверхню у вигляді виїмки, яка називається *врубовою порожниною*. Вона створюється за допомогою вибухового врубу, що являє собою невеликий комплект шпурів, пробурених за визначеною системою похило чи перпендикулярно до вибою, з розміщеними в них зарядами ВР, що підриваються у заданій послідовності.

Вибухові вруби можна розділити на такі основні групи:

з похилими шпурами, утворені шпурами, пробуреними під гострим кутом до вибою;

прямі, утворені шпурами, пробуреними паралельно один до одного під прямим кутом до вибою;

комбіновані, утворені шпурами, пробуреними похило і під прямими кутами до вибою.

Розглянемо конструкції найрозповсюдженіших вибухових врубів у кожній з перерахованих груп.

9.1. Вибухові вруби з похилими шпурами

Ці вруби найширше застосовуються у вугільних шахтах під час проведення виробок у породах середньої міцності і міцних, а також при вийманні вугілля, оскільки мають ряд істотних переваг, а саме: простоту конструювання і реалізації, невелику кількість серій уповільнення електродетонаторів, можливість застосування як у шахтах, не небезпечних щодо газу чи пилу, так і у небезпечних умовах;

За формою і розташуванням врубової порожнини розрізняють: клинові, воронкоподібні, пірамідальні та віялові вруби.

Клиновий вруб. Застосовують при проведенні виробок у породах різної міцності. Врубову порожнину створюють підриванням двох-чотирьох пар шпурів, нахилених один до одного. Розрізняють вертикальні і горизонтальні клинові вруби.

Вертикальні клинові вруби одинарні (рис. 9.1, а, б) і подвійні (рис.9.1, в, г) одержали широке поширення при проведенні польових горизонтальних і похилих виробок у шахтах як безпечних, так і небезпечних щодо газу чи пилу. Як правило, одинарні вруби застосовують, якщо $l_{\text{ш}} \leq 1,7 \dots 1,8$ м, подвійні – при більшій глибині. Шпури зовнішнього ряду називають *основними*, а внутрішнього – *допоміжними*. Клинові вруби добре вписуються у загальну

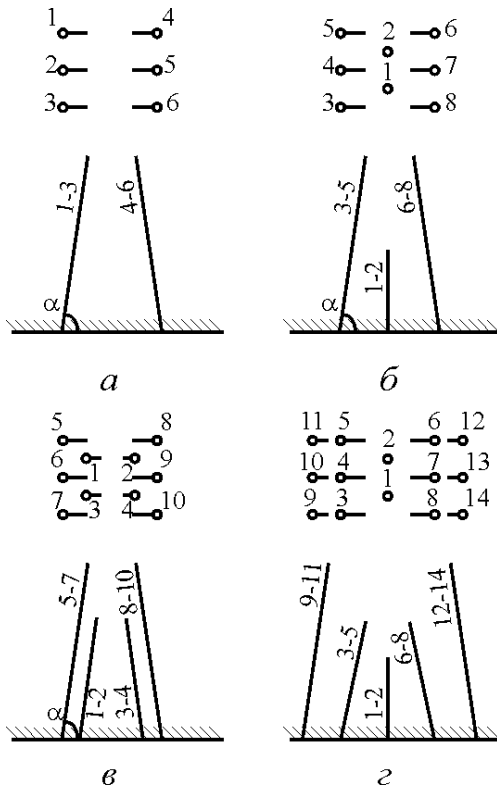


Рис. 9.1. Вертикальні клинові вруби:

а – одинарний; б і в – одинарний і подвійний з розрізними шпурами; г – подвійний

схему розташування шпурів, для них потрібно невелике число серій уповільнення електродетонаторів, відрізняються простотою розмітки шпурів; порода, що відривається вибухом, легко викидається з клиноподібної форми врубової порожнини, досягається високе значення КВШ.

Недоліки вертикальних клинових врубів: великий розкид породи (25...30 м), глибина шпурів, а отже, і довжина заходки лімітуються шириною виробки, можливі деформації кріплення.

Спостереження показують, що при клинових врубах, якщо шпури пробурені симетрично поздовжній осі виробки, породу, що відривається вибухом зарядів у врубових шпурах, викидає уздовж виробки на значну відстань (25...30 м) від вибою без ушкодження кріплення. Якщо ж шпури будуть пробурені несиметрично відносно поздовжній осі (що спостерігається дуже часто), породу з врубової порожнини викидає не уздовж осі, а в один або в інший бік. При цьому відмічаються пошкодження кріплення. Щоб виключити в міцних монолітних породах ($f > 7 \dots 8$) пошкодження кріплення, необхідно застосовувати розрізаючі шпури (див. рис. 9.1 б, г) і ініціювати їх електродетонаторами миттєвої дії. Заряди у таких шпурах будуть вибухати трохи раніше зарядів в інших і розіб'ють блок на невеликі грудки. Енергією вибуху зарядів порода з врубової порожнини буде викинута не у вигляді монолітного блоку (обсягом до $2,5 \text{ м}^3$), а невеликих грудок, що не зможуть деформувати кріплення. Відстані між врубовими шпурами у безпечних умовах і кут нахилу врубових шпурів рекомендується брати відповідно до даних, наведених у табл. 9.1.

Таблиця 9.1. Параметри для побудови клинових врубів

Коефіцієнт міцності f за шкалою Протодьяконова	Відстані по вертикалі між зарядами ВР кожної пари шпурів	Кут нахилу, ° не більше, градус		Число пар шпурів, не менше
		α	α'	
4...6	0,5...0,4	75...65	60...50	2...3
6...10	0,4...0,3	65...60	60...50	3...4
10...20	0,3...0,2	60...50	60...50	4...6

Відстані між шпуровими зарядами у вибоях виробок, у яких спостерігається виділення метану чи утворення вибухового вугільного пилу, повинні бути не менші за допущені Єдиними правилами безпеки під час підривних робіт (роз. 10, табл. 10.1).

Глибина допоміжних шпурів підривних врубів повинна дорівнювати 0,4...0,6 глибини основних, а глибина розрізних 2/3 глибини допоміжних чи основних за відсутності допоміжних (див. рис. 9.1).

Горизонтальні клинові вруби переважно застосовують у квершлагах невеликої площі перерізу: верхній вруб (рис. 9.2, *а*) при падінні порід від вибою, а нижній (рис. 9.2, *б*) – на вибій.

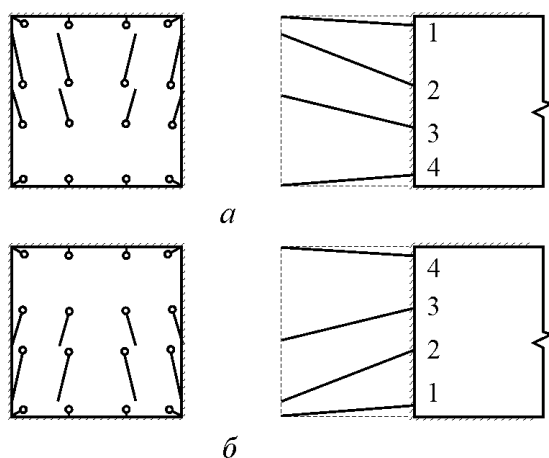


Рис. 9.2. Схеми розташування у квершлагі шпурів горизонтального клинового врубу:

а і *б* – верхнього і нижнього; 1 і 2 – врубові шпури; 3 і 4 – допоміжні і оконтурювальні шпури

лами (див. § 8.7).

Воронкоподібний вруб (рис. 9.3,

а). Використовують, коли проходять стволи круглого поперечного перерізу в породах різної міцності. Врубіву порожнину утворюють підриванням п'яти-восьми шпурів, розташованих по колу і спрямованих у бік осі ствола під кутом 60...80° до площини вибою. Вона полегшує роботу зарядів у допоміжних шпурах, заряди в яких підривають одразу за врубовими. Потім підривають заряди в предконтурних і оконтурювальних шпурах. Залежно від загальної кількості шпурів (від діаметра ствола і міцності породи) вони можуть бути розташовані за трьома-шістьма концентричними ко-

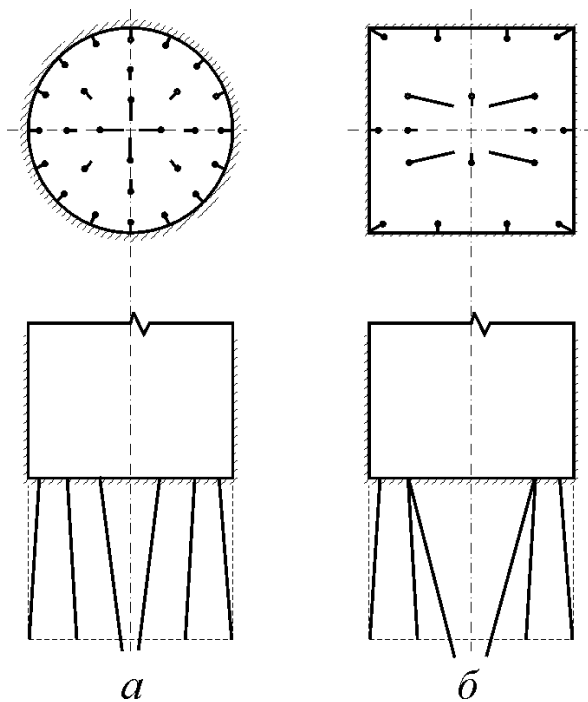


Рис. 9.3. Схеми розташування шпурів у вибоях вертикальних виробок, якщо вруб:

а і б – воронкоподібний і пірамідальний

замість похилих.

Пірамідальний вруб (рис. 9.3, *б*). Являє собою різновидність воронкоподібного. Врубову порожнину утворюють підриванням чотирьох шпурових зарядів, розташованих по кутах прямокутника і спрямованих до осі виробки. Після вибуху утворюється порожнина пірамідальної форми, яка створює додаткову відкриту поверхню, що полегшує роботу вибуху зарядів допоміжних і оконтурювальних шпурів. При значній площі перерізу виробки, а також у міцних породах між врубовими і оконтурювальними шпурами розташовують до трьох рядів допоміжних.

Цей вруб застосовується досить часто при проведенні стволів і шурфів прямокутного перерізу в породах різної міцності.

Віяловий вруб. Здійснюється одним-двома рядами шпурів, кут нахилу і довжина яких постійно збільшуються (рис. 9.4). Використовується під час проведення підготовчих виробок на пластах малої потужності. Шпурові заряди ініціюють електродетонаторами короткоуповільненої дії в порядку нумерації, наприклад, зазначеному на рис. 9.4.

У міцних породах у центрі врубової вирви бурять ще один шпур завглибжки 0,7 глибини врубових шпурів. Його заряд сприяє дробленню породи у верхній частині вирви і зменшенню висоти викидання породи врубовими зарядами. Деякі паспорти БПР передбачають відсутність заряду у центральному шпурі, який створює додаткову площину відслонення.

У глинистих сланцях і в піщаниках середньої міцності при потужних ВР і патронах великого діаметру (45 мм) врубові шпури дають досить гарний ефект навіть у випадку, якщо пробурені під кутом 90° . Вертикальні шпури бурити легше за похилі, тому під час швидкісних проходок стволів вважають за краще бурити кілька додаткових вертикальних шпурів

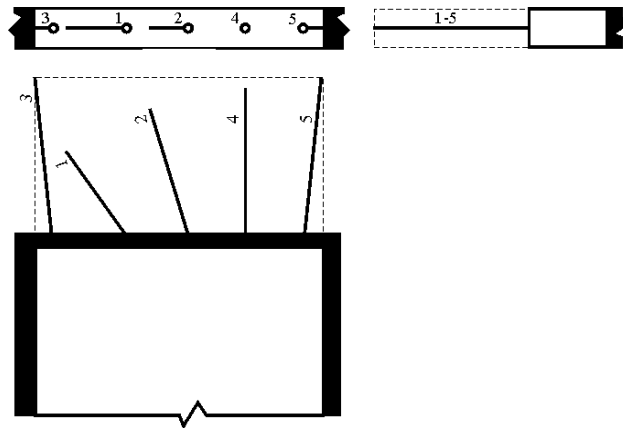


Рис. 9.4. Схема розташування шпурів віялового врубу

Добрі результати були отримані при застосуванні зустрічного віялового врубу у виробках шириною більше 4,5 м (коефіцієнт міцності за шкалою Протодяконова $f = 5 \dots 20$). Цей вруб являє собою сполучення двох віялових врубів, що розвертаються від осі виробки в протилежні боки. На рис. 9.5 наведена схема розташування шпурів із застосуванням зустрічного віялового врубу, що застосовувалася в шахті “Червоноармійська - Капітальна”. Спостерігався незначний викид породи, деформації кріплення не помічені, КВШ 0,8...0,9.

9.2. Прямі вруби

Такі вруби доцільні для міцних пород, а також пород будь-якої міцності у виробках малого перерізу, тобто там, де клинові вруби малоефективні чи їх неможливо застосувати.

Переваги: довжина шпурів не обмежується поперечними розмірами виробки, високий КВШ (0,90...0,95). Недоліки: через необхідність зближеного розташування шпурів і буріння "холостих" шпурів застосовують лише у виробках, у яких відсутні виділення метану і вибуховий вугільний пил.

Найбільшого поширення одержали вруби: призматичний, щілинний та спіральний крокуючий.

Призматичний вруб (рис. 9.6) застосовують у породах середньої міцності і вище у виробках малого перерізу ($4 \dots 8 \text{ м}^2$). Він утворюється бурінням п'яти-шести зближених шпурів, розташованих в центрі вибою у вигляді трикутника, квадрата, шестикутника. Недоліком є необхідність буріння холостих шпурів чи свердловин.

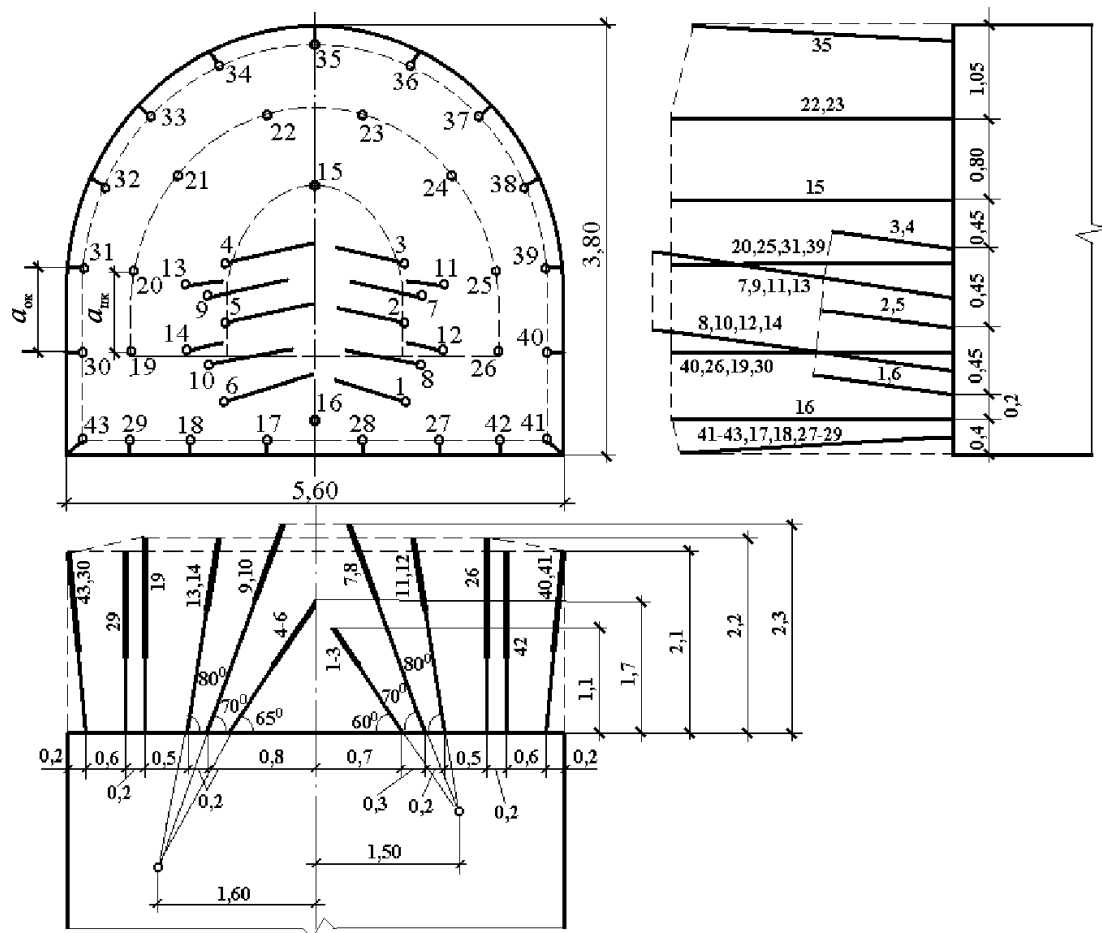


Рис. 9.5. Схема розташування шпурів з застосуванням зустрічного віялового врубів (розміри в м); 1...43 – нумерація шпурів

Для збільшення викиду породи з врубової порожнини доцільно бурити центральний шпур глибиною на довжину одного патрона ВР більше за інші, у який закладається вибувний заряд, що підривається останнім.

Призматичний вруб зі свердловиною застосовують при проведенні виробок у породах різної міцності. Свердловину діаметром 80...100 мм бурять приблизно в центрі вибою, навколо неї на різних відстанях – чотири врубових шпури (рис. 9.7, а) нормального діаметра (42 мм). Відстань між свердловинами і врубовими шпурами залежить від діаметра свердловини, міцності порід і потужності ВР. Наприклад, під час підривних робіт амонітами по породах з $f = 8...12$ відстань від свердловини до шпуру дорівнює 1 м.

У вугільних вибоях, в яких виділяється метан і утворюється вибуховий вугільний пил, необхідно дотримуватися мінімально припустимих відстаней між зарядами (див. табл. 10.1) і відмовитися від буріння холостих шпурів чи свердловин.

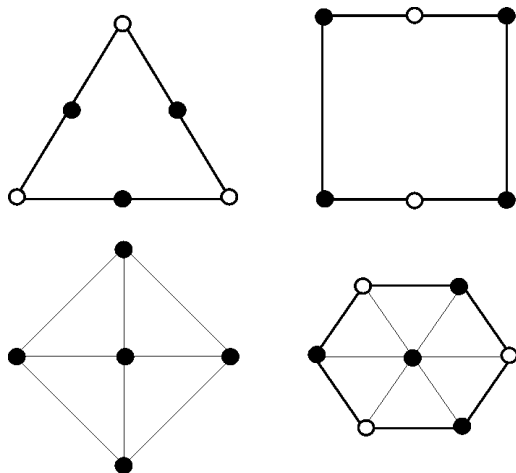


Рис. 9.6. Схеми взаємного розташування шпурів призматичного врубів:

о – «холості» шпури; • – «бойові» шпури

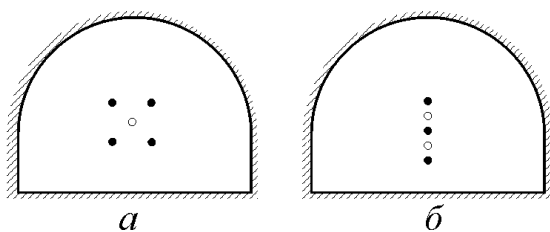


Рис. 9.7. Схеми розташування прямих врубів:

а – призматичний з незарядженою свердловиною; б – вертикальний щілинний

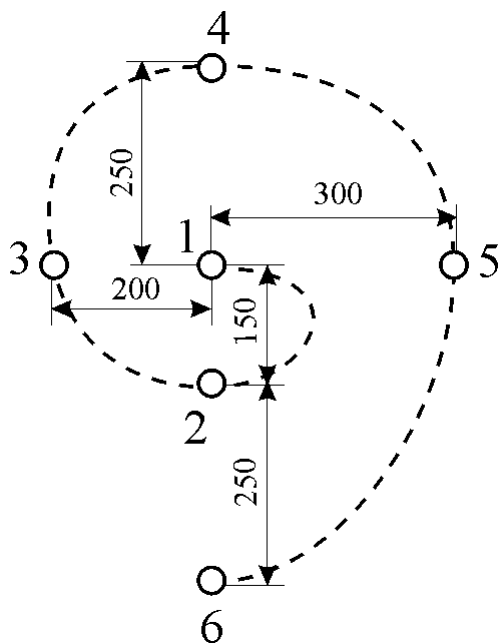


Рис. 9.8. Схема спірального крокуючого врубів

Щілинний вруб. Утворюється підриванням декількох зарядів у паралельних шпурах, розташованих в один-два ряди, пробурених перпендикулярно до вибою виробки (рис. 9.7, б). Шпури заряджають через один. Незаряджені створюють додаткові відкриті поверхні, що полегшують роботу сусідніх зарядженим. Якщо породи дуже міцні, відстань між шпурами не повинна перевищувати діаметра холостого шпуру (у бік якого діє вибух), а при слабких – може бути не більш двох-трьох діаметрів. Доцільно застосовувати потужні ВР, якими заповнюють шпури майже на всю глибину. Під час буріння шпурів необхідно застосовувати направляючі пристрої.

Щілинний вруб використовують у породах середньої міцності в шахтах, безпечних щодо газу чи пилу, при проведенні виробок переважно з невеликою площею перерізу, де вруби з похилими шпурами не годяться. Рациональна довжина щілини 0,8...1,1 м. Допоміжні врубів шпури по два з кожного боку щілини бурять на відстані від неї, що не перевищує 0,9 довжини. КВШ – 0,85...0,95. У мілкошарових і тріщинуватих породах щілинний вруб неефективний.

Спиральний крокуючий вруб. Шпури розташовують за спіраллю (рис. 9.8). Глибину першого беруть 1...1,1 м, другого – на 0,2...0,3 м більше глибини першого, третього і наступних також на 0,2...0,3 м більше глибини попереднього.

Заряд першого шпуру становить один-два патрона ВР. У кожному наступному шпурі заряд зростає на один патрон у порівнянні з попереднім. Послідовність підривання зарядів відповідає поряд-

ковим номерам шпурів. Спіральний крокуючий вруб випробувано на багатьох шахтах Донецького басейну, отримані високі показники. Однак виявлені серйозні недоліки. Так, можна застосовувати тільки пресовані ВР, оскільки при роботі з порошкоподібними ВР цей вруб через дуже близьке розташування сусідніх шпурів, застосовувати не можна, оскільки можливі випадки переущільнення ВР, а отже, загасання детонації і вигорання ВР. До того ж складно витримувати задану розмітку шпурів.

9.3. Комбіновані вруби

Найефективніший вруб цієї групи – **крокуючий пірамідально-клиновий**. Він

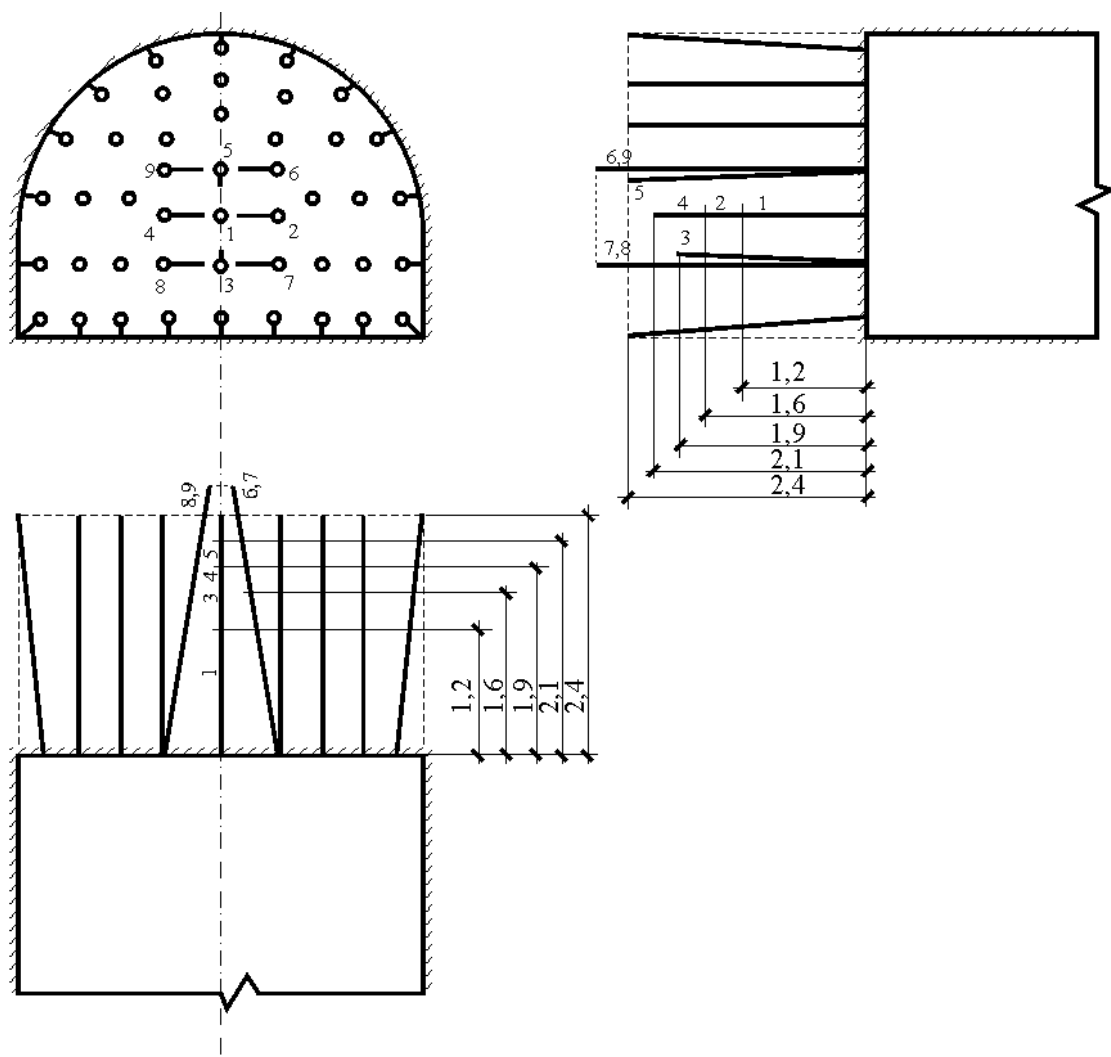


Рис. 9.9. Схема розташування шпурів із застосуванням крокуючого пірамідально- клинового врубу (розміри в м); 1...9 – нумерація шпурів складається з дев'яти шпурів (рис. 9.9). Центральний шпур №1 має найменші глибину (1...1,2

м) і заряд (один патрон ВР), буриться перпендикулярно до поверхні вибою. Шпури № 2, 3, 4, 5 розташовані на рівних відстанях від №1. Глибина цих шпурів, рахуючи від центрального, поступово збільшується з інтервалом 0,20...0,33 м. Заряди також збільшуються на один патрон, тобто на 0,25...0,30 кг у кожному наступному шпурі у порівнянні з попереднім. Під час проведення підривних робіт у піщаниках для полегшення викиду зруйнованої породи з утвореної порожнини шпури № 2, 3, 4, 5 доцільно бурити з деяким нахилом до осі шпуру № 1. Кути варто брати невеликими, довільного розміру, але такими, щоб відстані між зарядами в парах шпурів 2–1, 3–1 і 3–2; 4–1 і 4–3; 5–1 і 5–4; 5–2 відповідали вимогам Єдиних правил безпеки під час підривних робіт (див. табл. 10.1) і в породах з $f < 7$ становили не менше 0,45 м, а в більш міцних породах з $f \geq 7$ – не менше 0,30 м. Таким чином, можна застосовувати не тільки пресовані, але і порошкоподібні ВР.

У сланцях шпури № 2, 3, 4, 5 можна бурити перпендикулярно до поверхні вибою. Ефективність підривних робіт при цьому не знижується.

Послідовність підривання зарядів у шпурах від № 1 до № 5 включно відповідає порядковим номерам шпурів. Потім через 15...30 мс підривають заряди в шпурах № 6, 7, 8 і 9.

Розділ 10

Короткоуповільнене підривання

10.1. Фізична сутність

До 1958 р. у Донбасі й інших басейнах вибухові роботи у вугільних шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, велися лише миттєвими електродетонаторами. При цьому застосовувалося одноприйомне підривання, коли весь вибійний комплект шпурових зарядів вибухає від одного електричного імпульсу (за один прийом). Це є найпростіший і безпечний вид підривання.

Однак метод підривання всіх шпурових зарядів за один прийом при використанні тільки електродетонаторів миттєвої дії не виправдав себе на практиці. Ефективність його підривання дуже низька, а імовірність пошкодження кріплення гірничих виробок висока. До того ж електродетонатори миттєвої дії, що застосовувалися на той час, мали великий розкид у часі спрацьовування, що досягав у ряді випадків 100 мс і більше, а також низьку ініціюючу здатність, не забезпечуючи нормальної детонації зарядів ВР. Це, насамперед, призводило до некерованої послідовності підривання окремих шпурових зарядів у вибої виробки зі значними тимчасовими уповільненнями і до відказів.

Тому було поширено багатоприйомне підривання, коли забійний комплект шпурових зарядів вибухає за два чи кілька прийомів, що створювало небезпеку займання метану і вугільного пилу. Головна причина небезпеки полягала в тому, що вимоги ЄПБ щодо порядку заряджання шпурів і підривання зарядів нерідко порушувалися. Вимогами ЄПБ допускається заряджати таку кількість шпурів, заряди в яких будуть підірвані за один прийом і з розрахунком, щоб між черговими підриваннями було забезпечено провітрювання, замірювання газу, збирання відбитого вугілля і ряд інших заходів. Оскільки на виконання цих операцій потрібен час і додаткові матеріальні витрати, іноді, порушуючи вимоги правил і зневажаючи небезпекою, підричник і особа, відповідальна за організацію підривних робіт, у ряді випадків небезпечно спрощували: заряджали пробурені шпури, а шпурові заряди підривали по черзі: спочатку врубові, а потім відбійні, до того ж через проміжки часу, яких було недостатньо для провітрювання, а концентрацію газу між черговими підриваннями заміряли не завжди. У цих умовах огляд вибою після попереднього підривання не міг бути досить ретельним. Мали місце випадки оголення заряду чи частин зарядів у шпурах вибухами попередніх шпурових зарядів ВР. Таке спрощення в окремих випадках було причиною спалахування газу чи пилу,

тому що оголений заряд вибухав у загазованому середовищі при великому утворенні вугільного пилу.

Крім того, багатоприйомна технологія підривання призводила до значних втрат часу, а темпи проведення виробок були низькі (25...35 м на місяць). Резервів щодо збільшення швидкості практично не було. Тому належало розробити для шахт, небезпечних щодо газу чи пилу, такий спосіб підривання, який за простотою і безпекою не поступався би одноприйомному підриванню, а за ефективністю руйнування порід наближався б до багаторазового підривання.

У 1952-1953 рр. на підставі результатів фотореєстрації з використанням швидкісної кінозйомки процесів і осцилографування явищ вибуху в масиві, а також результатів натурних експериментів за впливом різних факторів на ефективність і безпеку руйнування гірських порід вибухом був розроблений спосіб підривання, який одержав назву **короткоуповільненого чи мілісекундного підривання**.

Короткоуповільнене підривання (КУП) – одноприйомне послідовне підривання окремих зарядів чи окремих груп зарядів із заздалегідь заданими мілісекундними проміжками часу (рис. 10.1).

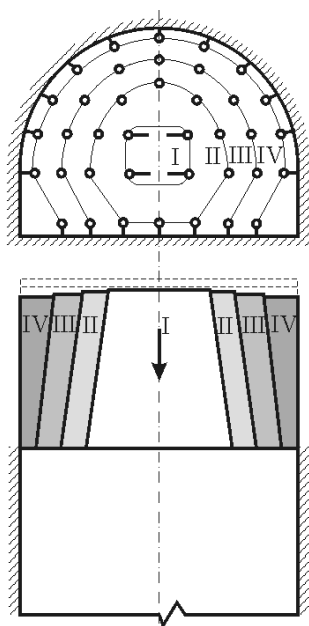


Рис. 10.1. Принципова схема руйнування гірських порід при короткоуповільненому підриванні:

I, II, III, IV – послідовність підривання шпурових зарядів ВР

Мілісекундні інтервали між вибухами – найважливіший чинник забезпечення безпечної у відношенні спалахування метану і вугільного пилу роботи всіх зарядів, що вибухають у вибої, а також принциповою відмінністю цього методу від багаторазового підривання.

При КУП руйнування масиву зарядами першої черги аналогічно руйнуванню вибухом одного заряду. У результаті вибуху призма викиду виявляється роздробленою, а під дією залишкового тиску газоподібних продуктів відбувається її зрушення. Массив у цей період знаходиться в напруженому стані. Коли вибухають заряди другої і наступної черги з малими інтервалами уповільнення, у масиві виникає складна картина інтерференції хвиль напруг (прямих і відбитих від вибуху наступних зарядів). Час перебування ділянки масиву в напруженому стані збільшу-

ється. Знижується сейсмічна дія вибуху на навколишні споруди в результаті одночасного вибуху меншої кількості зарядів, зменшується утворення тріщин у законтурному масиві. Відбувається взаємодія вибухів зарядів суміжних серій.

Таким чином, отримуваний ефект визначається наступними факторами:

інтерференцією хвиль напруг від сусідніх зарядів;

утворенням додаткових відкритих поверхонь;

зіткненням шматків, що розлітаються, під час вибуху сусідніх зарядів.

Якщо інтервали малі, має місце інтерференція хвиль напруг, середні – утворення додаткових відкритих поверхонь, великі – також зіткнення шматків. Перелічені фактори варто розглядати як складові елементи єдиного процесу взаємодії зарядів при КУП.

Інтерференція хвиль напруг відбувається в тому випадку, коли напрямки зміщення часток від попереднього і наступного вибухів збігаються. При цьому збільшуються сумарні зміщення, напруги й інтенсивність руйнування масиву.

У результаті досліджень, проведених МакНДІ, був установлений час початку зрушення масиву після вибуху: для піщаників 4,3...10 мс при одній відкритій поверхні, 0,4...12 мс при двох відкритих поверхнях; для глинистих сланців відповідно – 6...87 і 3...27 мс; для вугілля при одній відкритій поверхні – 9...23 мс.

Хвилеві процеси в масиві після вибуху заряду масою 0,6...0,9 кг завершуються в середньому за 4...6 мс. Швидкість розльоту порід переднього фронту становить 60...70 м/с, а при наступних – 3...6 м/с.

Додаткові відкриті поверхні при вибуху попередніх серій зарядів забезпечують утворення в масиві додаткових відбитих хвиль розтягнення від вибуху наступних серій. Це збільшує ефект руйнування, послаблює масив і полегшує його остаточне руйнування тиском газів вибуху. У бік відкритих поверхонь відбувається зрушення породи.

Шматки породи під час вибуху співударяються внаслідок того, що різні ділянки масиву мають різні швидкості і напрямки руху.

10.2. Параметри для шахт, небезпечних щодо газу чи пилу

Основні параметри, що визначають умови безпечного застосування короткоуповільненого підривання в шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу: загальний час вибуху всього комплексу шпурових зарядів ВР у вибої; інтервал уповільнення між вибухами суміжних шпурових зарядів; відстань між шпуровими зарядами; відстань від зарядів ВР до відкритої поверхні.

Розглянемо ці параметри.

Загальний час вибуху всього комплексу шпурових зарядів у вибої.

Це час уповільнення підривання останнього ступеня ЕД з урахуванням розкиду за часом спрацьовування. Він повинен бути таким, щоб у процесі підривання шпурових зарядів ВР в призабойному просторі не утворилася вибухова метаноповітряна суміш.

Результати експериментальних досліджень динаміки концентрації метану свідчать, що через 270...520 мс після підривання зарядів поблизу вибоїв з'являються загрозові концентрації метану (2,5...4,2%), а через 1...5 с концентрація метану може досягати вибухонебезпечної межі. Вибухонебезпечні концентрації можуть утримуватися протягом декількох (до 10) хвилин. Тому загальний час вибуху при застосуванні вибухової речовини III і IV класів повинен не перевищувати 220 мс, V і VI класів – 320 мс.

Інтервал уповільнення між вибухами суміжних шпурових зарядів ВР. Другий не менш важливий параметр – максимальний інтервал уповільнення між окремими серіями підривання суміжних шпурових зарядів. *Суміжними* називають шпурові заряди ВР, відстань між якими не перевищує двократно мінімально припустимої (див. табл. 10.1). Цей час повинен бути таким, щоб виключалася можливість бічного оголення шпурового заряду до моменту його підривання. Воно дуже небезпечно, тому що посилює на одну – дві і навіть три сходинки умови підривання зарядів ВР, тобто вимагає застосування ВР класу VI замість III, IV чи V. Крім того, у процесі бічного оголення можлива деформація шпурового заряду ВР, що призводить до його відказу.

Встановлено, що час початку утворення додаткових поверхонь 25...46 мс. Із результатів експерименту уповільнення між вибухами суміжних шпурових зарядів не повинне перевищувати 40 мс.

Величина цього часу має вирішальне значення для ефективності руйнування гірських порід вибухом. Адже при малих інтервалах має місце тільки інтерференція хвиль напруги, при середніх – утворення додаткових віддривних поверхонь, при великих – також зіткнення шматків. Тому, наприклад, у Бельгії мінімально припустимий час між вибухами врубових шпурових зарядів (вони вибухають завжди першими) і між допоміжними (другою серією) для високозапобіжних ВР збільшений до 60...80, а в США – до 100 мс. У нашій країні вирішили знижувати припустимі відстані між шпуровими зарядами і відкритою поверхнею.

Відстані між шпуровими зарядами ВР. Найважливішим показником, що впливає на безпеку й ефективність піддривних робіт, є стійкість детонації ВР. У той же час різночасне підривання шпурових зарядів ВР, у тому числі з мілісекундними інтервалами між окремими вибухами, може за певних умов впливати на сусідні шпурові заряди, що підриваються в на-

ступних серіях. Наприклад, кількість неповних детонацій незапобіжних ВР класу II в породних і вугільних вибоях на шахтах Донбасу досить велике.

Дослідження МакНДІ довели, що одна з основних причин неповних детонацій – ущільнення ВР сусідніми раніше вибухлими зближеними зарядами. Встановлено, що амоніт 63В у м'яких породах дає неповні детонації при відстані між зарядами до 40 см, у породах середньої міцності – до 30 і в міцних – до 20. Майже всі загасання спостерігалися у стиках між патронами. Амонал скельний №1 не давав загасань детонації. Ці процеси, насамперед, – основні технологічні причини вигорання шпурових зарядів ВР, а саме:

переущільнення патронів ВР до щільності понад критичну (залишковий тиск у сусідніх шпурах може досягати 30 МПа);

розсушення патронів у шпурі аж до викидання патрона-бойовика зі шпуру (у горизонтальних і похилих середня швидкість викидання дорівнює 3,8 м/с, максимальна – 10 м/с);

утворення вугільних і породних пересипань між окремими патронами за рахунок відкольних явищ.

Мінімально припустимі відстані між шпуровими зарядами $a_{\min}$, за яких виключається негативна дія вибуху одного заряду на інший, встановлені експериментально (табл.10.1).

Таблиця 10.1. Мінімально припустимі відстані між шпуровими зарядами ВР

Умови підри- вання	$a_{\min}$, мм, залежно від класу ВР			
	II	III...IV	V	VI
По вугіллю	0,60	0,60	0,50	0,40
По породі, як- що:				
$f < 7$	0,50	0,45	0,30	0,25
$f = 7...10$	0,40	0,30	–	–
$f > 10$	Визначається нормативами, розробленими за погодженням з МакНДІ			

Відстань від шпурового заряду ВР до відкритої поверхні. За цю відстань береться мінімальна вугільна чи породна перегородка між шпуровим зарядом ВР і якою-небудь площиною в гірському масиві, через яку вибух заряду ВР не запалить вибухову метано- чи пилоповітряну суміш.

Для встановлення цієї відстані заряди ВР підірвали у вугільноцементних блоках і в сталевих канальних мортирах, розміщених у вибуховій суміші. Результати дозволили встановити, що відстань від заряду ВР до найближчої відкритої поверхні повинна бути: по

вугіллю не менш 0,5 м якщо застосовується ВВ класів IV і V, та не менш 0,3 м – класу VI; по породі – не менш 0,3 м.

Глава 11

Струсне підривання в шахтах, небезпечних через раптові викиди

Поряд з вибухами метану і вугільного пилу грізне явище у шахтах – викиди породи, вугілля і газу. Вони характеризуються швидким (від однієї до декількох десятків секунд) довільним руйнуванням привибійної частини вугільного чи породного масиву і підвищеним газовиділенням. Швидкість переміщення потоку гірської маси при викиді становить 4,3...8,7, а окремих шматків – до 20 м/с.

Небезпечними наслідками викидів можуть бути: травмування людей, виділення великої кількості газу, здатної призвести до ядухи людей, утворення вибухонебезпечної атмосфери, що може викликати вибухи метану і вугільного пилу. При максимальному в історії гірничої справи раптовому викиді (тривав 32 с), що відбувся в 1971 р. при розкритті пл. m_3 “Мазурка” у шахті ім. Гагаріна ВО “Артемвугілля”, було викинуто 14 тис. т вугілля і понад 250 тис. m^3 газу.

Раптові викиди можливі в особливих гірничо-геологічних умовах, в основному при виконанні підривних робіт, а також операцій, пов'язаних із проведенням гірничих виробок чи з видобутком вугілля. Тому підривні роботи на викидонебезпечних пластах ведуться в режимі струсного підривання, спрямованого на захист людей від небезпечних наслідків раптових викидів за рахунок зниження їх частоти й інтенсивності, провокування їх при відсутності людей у проведеній виробці та у небезпечній зоні.

Уперше струсне підривання застосували в 1890 р. у Франції, у вітчизняній практиці – в 1917 р. на шахті “Червоний Профінтерн” (м. Єнакієве) при розкритті пл. ”Дерезівка” на гор. 340 м; супроводжувалося викидом вугілля і газу інтенсивністю 200 т.

Струсне підривання характеризується такими особливостями:

спеціальним режимом і організацією виконання підривних робіт;

нетрадиційними (особливими) схемами розташування і підривання шпурових зарядів;

підвищеною питомою витратою ВР;

спеціальними технологіями розкриття викидонебезпечних пластів.

Струсне підривання повинне забезпечити відбій вугілля і породи точно у відповідності до проектних розмірів і форми виробки для того, щоб надалі виключити застосування в призабойному просторі ручних інструментів, які можуть викликати запізнілий викид. Якщо не досягнуто достатнього руйнування вугілля і не отримана потрібна конфігурація виробки, то варто провести повторне струсне підривання.

Шпури по вугіллю бурять тільки машинами обертальної дії. По породі допускається ударне буріння.

Для струсного підривання допущені ВР класу IV. Дозволяється за певних умов, обумовлених «Єдиними правилами безпеки при підривних роботах», для торпедування і підривних робіт по викидонебезпечних піщаниках застосовувати ВР класу III, а також незапобіжні ВР класу II.

Ініціювання зарядів при струсному підриванні у вугільних і змішаних вибоях і по викидонебезпечних породах слід виконувати запобіжними електродетонаторами миттєвої і короткоуповільненої дії з часом уповільнення не більше 220 мс. При розкритті пластів до їхнього відслонення струсним підриванням час уповільнення останнього ступеня електродетонаторів короткоуповільненої дії допускається збільшувати до 320 мс.

11.1. Організація і режим виконання

Для підготовки і проведення струсного підривання наказом призначаються керівник у виробі і на поверхні шахти. Керівництво підготовкою і проведенням у вибої повинні здійснювати інженерно-технічні працівники дільниці, на якій проводяться роботи.

Для кожного вибою повинна бути складена Інструкція із струсного підривання у вибої, що встановлює порядок і технологію його виконання у конкретних гірничо-геологічних умовах виробки, а також заходи безпеки, спрямовані на захист людей від наслідків викиду. Паспорт БПР є складовою частиною цієї Інструкції. З паспортом БПР і з Інструкцією повинні бути ознайомлені (під розпис) особи технічного нагляду, робітники відповідних дільниць.

Порядок проведення струсного підривання й особи, відповідальні за його виконання, повинні затверджуватися наказом по шахті. У випадку проведення робіт спеціалізованими шахтобудівними організаціями такий порядок встановлюється спільним наказом шахтобудівного управління й експлуатаційною шахтою.

Струсне підривання допускається робити тільки в спеціально виділені міжзмінні перерви, тривалість яких визначається хронометражними спостереженнями, чи зміни за умови відсутності людей у небезпечній зоні. Дані про час і місце у вигляді оголошення повинні виставлятися не пізніше ніж за зміну до початку підривання на спеціальній дошці оголошень у ламповій і біля стволів (шурфів), по яких проводиться спуск і підйом людей.

Потрібно вести “Журнал проведення струсного підривання на шахті”, затверджуваний керівником підривання з поверхні.

Під час проведення підривання встановлюють небезпечну зону, в яку включають виробки шахти, розташовані у напрямку руху вихідного вентиляційного струменя від місця підривання, а також виробки зі свіжим струменем повітря, що надходить від вибою до місця укриття майстра-підричника. Перед початком заряджання шпурів у виробках, розташованих у межах небезпечної зони, електроенергія повинна бути відключена. Включення допускається лише після перевірки вмісту метану в атмосфері виробки після підривання.

Не допускається відключення вентиляторів місцевого провітрювання, а також приладів автоматичного контролю вмісту метану і датчиків, що використовуються для контролю викиднебезпечних зон вугільних пластів. У вибоях виробок, у яких не можна відключити електроенергію до початку заряджання шпурів (у зв'язку з їхнім можливим затопленням), знеструмлення треба виконати перед початком монтажу вибухової мережі.

Люди, не пов'язані з підривними роботами, повинні знаходитися на свіжому струмені повітря на відстані не менш 1000 м від місця злиття вихідного з виробки струменя повітря зі свіжим струменем, рахуючи проти напрямку руху.

У вугільних і змішаних вибоях виробок, які проводяться по викиднебезпечних вугільних пластах, при підриванні зарядів по вугіллю чи по вугіллю і породі одночасно, а також по породі без попередньої виїмки вугілля, відстань до укриття майстра-підричника повинна бути не менше 600 м від вибою, але не ближче 200 м від місця злиття вихідного з цієї виробки струменя повітря зі свіжим струменем. При підриванні зарядів по породі у вибоях, де проведена випереджальна виїмка викиднебезпечного вугільного пласту, відстань до місця укриття майстра-підричника повинна бути не менше 200 м від місця злиття вихідного з цього вибою струменя повітря зі свіжим струменем.

Струсне підривання при розкритті пластів проводиться з місця перебування людей, не пов'язаних з підривними роботами, тобто з 1000 м, а при розкритті особливо викиднебезпечних пластів – з поверхні за умови повної відсутності людей у шахті.

Місця укриття, з яких проводиться підривання зарядів при розкритті викиднебезпечних і загрозливих вугільних пластів при заглибленні вертикальних стволів з діючих горизонтів, повинні знаходитися: на ділянці перерізу – на поверхні у 50 м від ствола, на ділянці наближення і віддалення (див. § 11.2.1) – на діючому горизонті, але не ближче 200 м від ствола, що заглиблюється, за умови забезпечення ізолюваного відводу вихідного струменя повітря.

Якщо виконання зазначених умов неможливо, підривати треба з поверхні.

Підривати повинен майстер-підричник у присутності особи технічного нагляду за посадою не нижче заступника начальника дільниці. Майстри-підричники й особи технічного

нагляду споряджуються індивідуальними світильниками з вмонтованими датчиками метану й ізолюючими саморятувальниками.

Підривання повинно проводитися від стаціонарного вибухового пункту, розташованого в місці укриття майстра-підричника, що являє собою закритий на ключ металевий ящик, у який уведена вибухова магістраль. До розкривальних вибоїв підготовчих і очисних виробок прокладають постійні вибухові магістралі зі спеціальних кабелів, допущених Держнаглядохоронпраці України, для виконання підривних робіт. Їх прокладають з боку виробки, вільної від силових, телефонних і інших кабелів чи на відстані не менше 0,3 м від них.

Після підривання огляд дозволяє керівник з поверхні після одержання ним відомостей про вміст метану у вибої, але не раніше, ніж через 30 хв після вибуху і вмісті метану менше 2%. Огляд вибою виконують особи технічного нагляду і майстер-підричник.

Особа технічного нагляду, що вимірює вміст метану при просуванні до вибою для огляду його після струсного підривання, повинна знаходитися на відстані 3 м спереду майстра-підричника. При виявленні концентрації метану 2% і більше вони зобов'язані повернутися у виробку зі свіжим струменем повітря.

На випадок можливого викиду вугілля (породи) і газу, керівником шахти завчасно повинні бути затверджені заходи щодо розгазування виробки.

У випадку відказу зарядів, ліквідація їх повинна проводитися з виконанням усіх вимог по ліквідації відказів (див. § 18.1.3) і до струсного підривання.

Усі службові розмови повинен фіксувати керівник підривання з поверхні на магнітофонну стрічку, що повинна зберігатися не менш трьох діб.

11.2. Технологія виробництва

Залежно від призначення та ефективного застосування струсне підривання можна умовно поділити його на п'ять видів (табл. 11.1), кожний з яких характеризується специфічними параметрами ведення підривних робіт.

11.2.1. Розкриття викиднебезпечних пластів струсним підриванням. Розкриттям пластів – це комплекс робіт, пов'язаних з наближенням до них вибою розкривальної виробки, їх відслонення, перетинання і віддалення від зазначених пластів.

При розкритті крутих пластів ділянкою наближення варто вважати ділянку розкривальної виробки з 4 до 2 м перед пластом, що розкривається, а ділянкою віддалення – з 2 до 4 м за пластом (рис. 11.1, а).

Таблиця 11.1. Види струсного підривання та їх призначення

Вид (галузь)	Призначення
Розкриття пластів	Відбій породи і вугілля у зонах наближення, перетинання та віддалення
Вугільні та змішані вибої підготовчих та очисних виробок, які проводяться із викидонебезпечних вугільних пластів	Повний відбій вугілля чи вугілля і породи у заданому перетині виробки, зниження інтенсивності і щільності викидів вугілля та газу при струсному підриванні
Вибої виробок, які проводяться по викидонебезпечних породах	Відбій породи у заданому перерізі виробок
Торпедування (гідропідривна обробка) призабійної частини вугільного пласта у підготовчих і очисних виробках	Запобігання викидів вугілля та газу
Передове (позапластове) торпедування вміщуючих порід на виїмкових ділянках попереду очисних вибоїв	Запобігання чи зменшення інтенсивності і щільності викидів вугілля та газу

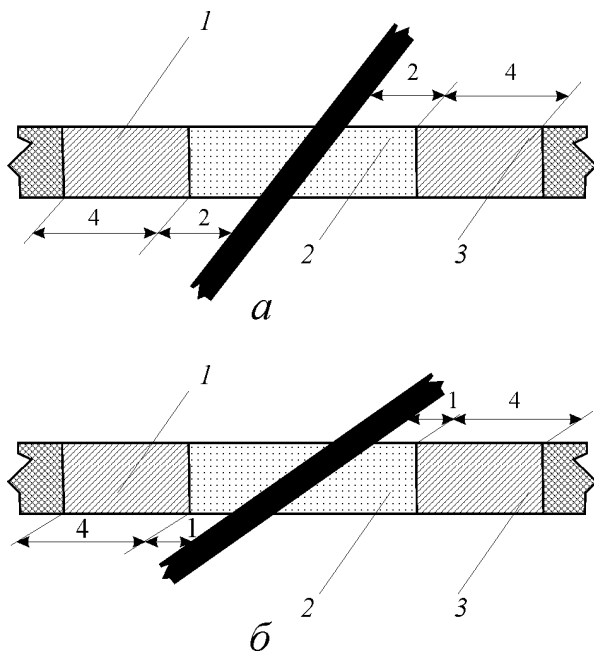


Рис. 11.1. Схеми розкриття пластів квершлагами (размери у м):
 а – крутих і крутопадаючих;
 б – пологих і похилих;
 1, 2 і 3 – ділянки віддалення від пласта, перетинання і наближення

При розкритті пологих і похилих вугільних пластів ділянкою наближення варто вважати ділянку розкривальної виробки з 4 до 1 м перед розкриттям пласту і ділянку видалення – з 1 до 4 м за пластом (рис. 11.1, б). Відстані слід брати по нормалі до пластів.

Розкриття вугільних пластів струсним підриванням, крім потужних крутих пластів, допускається робити повним проектним перетинанням розкривальної виробки.

Режим струсного підривання уводиться з відстані не менше 4 м і скасовується після віддалення вибою виробки на відстань не менше 4 м по нормалі від пласта вугілля.

Відслонення і перетинання пластів за допомогою буропідривних робіт проводять при породній пробці між вибоєм виробки і крутим

пластом (пропластком) не менше 2 м, а для пологих і похилих – не менше 1 м по нормалі до пласта.

Для розкриття крутого пласту за одне підривання треба (рис. 11.2):
 використовувати двоярусні (розосереджені) заряди;

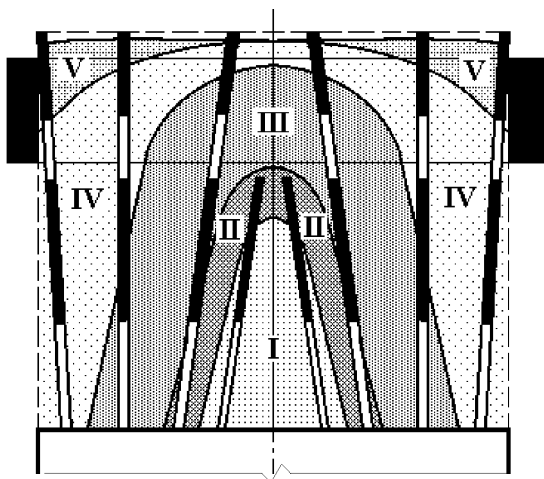


Рис. 11.2. Схема розташування шпурів і зарядів при розкритті викиднебезпечного пласта:

I...V – послідовність руйнування гірського масиву

уповільнення в донному заряді повинно бути більша, ніж у першому від устя заряді на 30...45 мс (за номіналом);

при використанні допущених для відповідних умов ВР класів III і IV, довжина набійки між розосередженими зарядами повинна бути не менше 0,75 м, а маса першого від устя шпурового заряду – не більше 1,2 кг; при використанні ВР класу II відповідно не менше 1 м і не більше 1 кг.

11.2.2. Проведення виробок і ведення очисних робіт із викиднебезпечних вугільних пластів. Проведення підготовчих виробок струсним підриванням на пластах пологого і похилого падіння може здійснюватися за двома схемами: з попереднім відбиванням вугілля чи одночасним відбиванням вугілля і породи. У місцях геологічних порушень підривання по вугіллю і породі повинне проводитися одночасно.

З а б о р о н я є т ь с я застосовувати ручні ударні інструменти для оформлення вибою після струсного підривання.

При струсному підриванні у вугільних вибоях підготовчих виробок на пластах пологого падіння кількість шпурів по вугіллю визначають за формулою

$$N_{\text{в}} = \left(\frac{B_{\text{в}} + 0,5}{0,6} + 1 \right) k_{\text{ш}}, \quad (11.1)$$

де $B_{\text{в}}$ – ширина вугільного вибою в перерізі штреку, м;

0,6 м – мінімально допустима відстань між шпуровими зарядами;

$k_{\text{ш}}$ – коефіцієнт розташування шпурів, що визначає кількість рядів за потужності пласта:

застосовувати подвійний клиновий вруб, при цьому шпури першого (допоміжного) ряду бурять до пласта, а шпури другого (основного) – за пласт на 0,4...0,5 м; заряд ВР у допоміжних шпурах вибухового врубу беруть 0,9...1,2, а в основних шпурах – 1,5...3 кг;

розташовувати заряди ВР відбійних і оконтурювальних шпурів як у породному підриванні, так і у вугільному масиві (у розкривальному пласті);

перебурюють породи, розташовані за пластом, на відстань 0,4...0,5 м;

у шпурах із розосередженими зарядами

Потужність пласта, м.....	0,40...0,75	0,76...1,20	1,21...1,80	1,81 і бі- льше
$k_{ш}$	1	2	3	4

Загальні витрати ВР на заходку, кг

$$Q_{\text{зах}} = \frac{N_y l_{\text{ш}} \gamma}{2}, \quad (11.2)$$

де $l_{\text{ш}}$ – глибина шпурів для струсного підривання, м;

γ – маса 1 м заряду шпuru по вугіллю, кг (для порошкоподібних амонітів дорівнює 1,1...1,2 кг/м).

При струсному підриванні по породі в підготовчих виробках і в очисних вибоях порядок розрахунку параметрів паспорта БПР такий же, як і при звичайному (див. роз. 8), але при більш високій питомій витраті ВР його варто брати на підставі даних практики чи розрахунковим способом за емпіричними формулами.

При одночасному підриванні по вугіллю і породі в цих же умовах питома витрата ВР, кг/м³, для породної частини вибою

$$q_{\text{п}} = 0,7 + 0,12f_{\text{п}} + 0,01l_{\text{ш}} - 0,02S_{\text{п}}, \quad (11.3)$$

де $S_{\text{п}}$ – площа поперечного перерізу породного вибою, м².

У вугільних і змішаних вибоях підготовчих виробок, проведених на крутих пластах по вугіллю чи по вугіллю і породі, питому витрату ВР рекомендується зменшити приблизно на 20% у порівнянні з розрахунковими даними за формулою (11.3). Питому витрату у вибоях очисних виробок також доцільно визначати на підставі даних практики чи розрахунковим способом.

Для умов застосування ВР класу IV в нішах і лавах

$$q_{\text{п}} = 0,7 + 0,1f_{\text{в}} + 0,01l_{\text{ш}} - 0,01S_{\text{в}}, \quad (11.4)$$

де $S_{\text{в}}$ – площа поперечного перерізу вугільного вибою, м²;

$f_{\text{в}}$ – міцність вугілля за шкалою Протодьяконова.

Для забезпечення ефективності підривних робіт глибина шпурів повинна бути на 0,5 м більше за посунення вибою за цикл (довжину заходки).

Застосування віялових врубів вважати за доцільне в першу чергу у вугільних вибоях, проведених на пластах потужністю до 0,7 м. На пластах потужністю 0,8 м і більше, представлених неміцним вугіллям, раціонально застосовувати призматичні вруби.

11.2.3. Проведення виробок по викидонебезпечних породах. Викидонебезпечні піщаники за міцністю належать до міцних порід з коефіцієнтом міцності за шкалою Протодьяконова, що дорівнює 7...10 чи більше. Експериментально встановлено, що викиди піщаника можуть відбутися тільки з тих частин вибою, де є надлишковий тиск газу (більше 0,02 МПа). Ця особливість викидонебезпечних піщаників покладена в основу прийнятої технології проведення виробок буропідричним способом.

По викидонебезпечних породах виробка проводиться з випереджаючим вибоєм зменшеного перерізу (рис. 11.3). Підривання шпурових зарядів в обох вибоях виконують од-

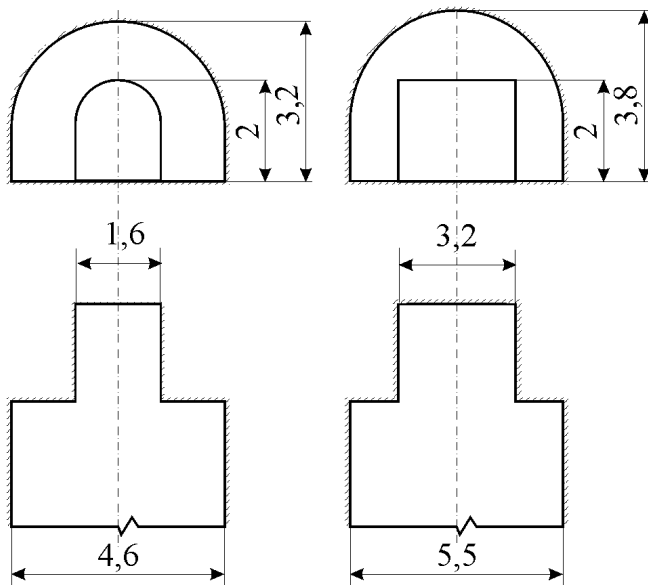


Рис. 11.3. Схеми проведення виробок з випереджаючим вибоєм у зонах високого (а) і невисокого (б) ступеня небезпечності (розміри в м)

ночасно (за один прийом) з уповільненням від проектного до зменшеного перерізу (шпурові заряди у випереджаючому вибої підривають після вибуху зарядів у проектному).

Переріз випереджаючого вибою повинен бути таким, щоб відбита вибухом порода основного вибою повністю перекривала переріз випереджаючого вибою. Ідея способу полягає в тому, щоб основний комплект шпурових зарядів підірвати в дегазованому (до тиску газу менше 0,02 МПа) масиві й одночасно локалізувати можливий викид у напруженому випереджаючому вибої перемичкою гірської маси.

У зонах високого ступеня викидонебезпечності рекомендується у випереджаючому вибої бурити не більше 12 шпурів, розташовуючи при цьому оконтурювальні шпури за еліптичним, як найбільш стійким, контуром. У зонах невисокої і середньої викидонебезпечності буріння оконтурювальних шпурів у передовому вибої за еліптичним контуром не обов'язково, причому кількість їх може бути збільшена до 21. Глибина шпурів повинна бути 1,6...1,8 м. Питома витрата незапобіжних ВР – 1,6...1,8 кг/м³ (запобіжних – на 25...30% більше).

Навколо контуру кожної виробки існує зона природного розвантаження на глибині, що не перевищує 0,6...0,8 м. Тому у вибої проектного перерізу шпури розташовують в один ряд на відстані не більше 0,6 м від стінок випереджаючої порожнини. Якщо одного ряду недостатньо для доведення виробки до проектного перерізу, підривання шпурових зарядів

у відстаючому вибої необхідно зробити декілька разів, дотримуючись викладених вище вимог до розташування шпурів.

Глава 12*

Спеціальні види підривних робіт

12.1. Контурне підривання

Розрізняють два методи підривних робіт при проведенні гірничих виробок – звичайне і контурне.

Звичайне підривання одержало надзвичайно широке поширення, незважаючи на серйозні недоліки. Так, фактичні контури порожнин виробок, як правило, не відповідають проектним. Мають місце великі перебори породи і надмірні порушення тріщинами законтурного масиву. Перебори породи є причиною збільшення обсягів робіт з навантаження і транспортування породи і забутовці закріпного простору, а при монолітному бетонному кріпленні – великих перевитрат бетону. Фактичний коефіцієнт надлишку перерізу (КНП) досягає 1,25...1,30 при нормативному 1,03...1,05.

Тріщини, що виникають у законтурному масиві, впливають на гірські породи. Природні міцність і стійкість їх значно знижуються. Частішають випадки деформації кріплення і перекріплення виробок, на що затрачається багато часу і коштів. Залежно від типу і діаметра патронів ВР, діаметра шпурів, міцнісних показників порід тріщини поширюються в законтурний масив на глибину до 1,2...1,6 м у піщаниках і 1,6...2,2 м – у сланцях.

Тріщиноутворення в законтурному масиві негативно впливає не лише на міцність і стійкість порід покрівлі і стінок гірничих виробок, але на безпеку робіт, особливо в привибійному просторі. Тріщини є також акумулятором отруйних газів, що утворюються при підривних роботах.

Для більшості ВР кількість газів, що виділяються під час вибуху 1 кг ВР, становить 600...1000 дм³, до складу яких входить від 100 до 150 дм³ отруйних домішок у виді оксидів вуглецю, азоту й ін. При застосуванні ВР, що містять нітроефіри, наприклад детоніту М (10% нітроефірів), у продуктах вибуху, крім перерахованих, наявні не менш токсичні гази – пари нітроефірів.

Отруйні гази, що утворилися при підривних роботах і проникли в тріщини законтурного масиву на значну глибину, поступово виділяються і протягом значного часу містяться в рудниковій атмосфері в той час, коли вибій вважається провітреним і безпечним для персоналу, що виконує у привибійному просторі роботи з навантаження породи, зведення крі-

* Дана глава написана при участі доктора технічних наук М.О. Ільяшова

плення, буріння шпурів. З цієї причини нерідко мали місце випадки з ознаками отруєння прохідників, що скаржились на нудоту і головний біль.

При проведенні гірничих виробок із застосуванням контурного підривання перераховані недоліки, властиві звичайному, виключаються.

Контурне підривання – це технологічний прийом, що полягає у встановленні таких параметрів зарядів і розташування оконтурювальних шпурів, при яких досягаються незначні перебори породи і мінімальний вплив вибуху на законтурний масив. У результаті такого впливу створюється порівняно гладка поверхня боків і покрівлі виробок і мала глибина порушення законтурного масиву, а порожнина виробки набуває правильної форми. Крім того, підвищується стійкість відслонень, безпека робіт і техніко-економічні показники.

Контурне підривання вперше виконали у Швеції при будівництві гідротехнічних споруд для одержання виробки з рівними гладкими стінами. Як ВР застосовувався динаміт у патронах діаметром 32...36 мм. У оконтурювальних шпурах застосовували напівпатрони. Їх розрізали уздовж на дві половинки. Ці напівпатрони прив'язувалися з проміжками (довжина дорівнювала довжині півпатрону) до дерев'яних планок. Щоб ВР детонувала, до планок прив'язували також детонувальний шнур. Заряди в шпурах містилися так, щоб планка знаходилася з боку масиву, а ВР була направлена у бік порожнини. Відстань між шпурами, які оконтурювали, була значно зменшена, ніж між іншими. Після підривних робіт отримували виробку з дуже рівними стінками без тріщин і досить стійку.

Для проведення гірничих виробок контурним підриванням необхідно виконувати наступні заходи:

а) високоточна реалізація параметрів, зазначених у паспортах буропідривних робіт, тобто потрібно точно розмічати шпури, а при бурінні витримувати кути нахилу шпурів до поверхні вибою виробки;

б) зменшення в 2...4 рази, проти звичайної, енергії, в оконтурювальних шпурах.

Останнє досягається застосуванням патронів ВР зменшеного діаметра (у випадку амонітів Т-19, ПЗВ-20, АП-53В – патрони діаметром 27...28 мм, детоніта М – 21...22 мм) чи застосування в оконтурювальних шпурах ВР малої потужності (вугленіт Е-6) з діаметром патрона 36 мм;

в) використання особливого методу розрахунку параметрів зарядів і розташування шпурів.

Як вихідні дані для розробки паспорта буропідривних робіт на контурне підривання можна використовувати діючий паспорт для звичайного методу ведення буропідривних робіт для цієї виробки з внесенням у нього скоректованих даних для шпурів контурного і передконтурного рядів.

Маси, кг, шпурових зарядів контурного $q_{ш.к}$ і передконтурного $q_{ш.пк}$ рядів варто підраховувати за формулами

$$q_{ш.к} = l_{ш} k_{зап.к} \Gamma_k, \quad (12.1)$$

$$q_{ш.пк} = l_{ш} k_{зап.пк} \Gamma_{пк}, \quad (12.2)$$

де $k_{зап.к}=0,6\dots0,7$ – коефіцієнт заповнення шпуру контурного ряду;

$k_{зап.пк} = 0,4\dots0,6$ – коефіцієнт заповнення шпуру передконтурного ряду;

γ_k і $\gamma_{пк}$ – маса, кг, 1 м заряду ВР у оконтурювальних та передконтурних шпурах;

$$\Gamma_k = \frac{\rho d_k^2}{4} \Delta_{ВР}, \quad (12.3)$$

$$\Gamma_{пк} = \frac{\rho d_{пк}^2}{4} \Delta_{ВР}, \quad (12.4)$$

d_k – діаметр патронів ВР у шпурах контурного ряду (береться при застосуванні амонітів 27...28 мм, при застосуванні детоніту М – 21...22 мм);

$d_{пк}$ – діаметр патронів ВР у шпурах передконтурного ряду (беруть 36 чи 32 мм).

Підраховані маси зарядів шпурів контурного і передконтурного рядів уточнюються округленням до цілої кількості патронів у шпурі. Глибина шпурів при переході на контурне підривання залишається рівною глибині, взятій у даній виробці при звичайному підриванні.

Відстані, м, між контурними a_k і передконтурними $a_{пк}$ шпурами (рис. 12.1) і величини ЛНО, м, для цих шпурів W_k і $W_{пк}$) варто підраховувати за формулами:

$$a_k = \sqrt{\frac{\kappa_{зап.к} \Gamma_k m}{q_k}}, \quad W_k = \sqrt{\frac{\kappa_{зап.к} \Gamma_k}{q_k m}}, \quad (12.5)$$

$$a_{пк} = \sqrt{\frac{\kappa_{зап.пк} \Gamma_{пк} m}{q_{пк}}}, \quad W_{пк} = \sqrt{\frac{\kappa_{зап.пк} \Gamma_{пк}}{q_{пк} m}}, \quad (12.6)$$

де m – коефіцієнт зближення зарядів при шаруватих породах у виробках, що проводяться по простяганню (слід брати $m = 0,8$ у стінок виробки і $m = 1\dots1,2$ – у покрівлі);

q_k і $q_{пк}$ – питома витрата ВР, кг/м³, для зони оконтурювальних і передконтурних шпурів

$$q_k = 0,15\sqrt{f} \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{B_k} \right) e^{-1} k, \quad (12.7)$$

$$q_{пк} = 0,15\sqrt{f} \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{B_{пк}} \right) e^{-1} k, \quad (12.8)$$

де B_k і $B_{пк}$ – довжини ліній, м, за якими розташовані відповідно оконтурювальні і передконтурні шпури.

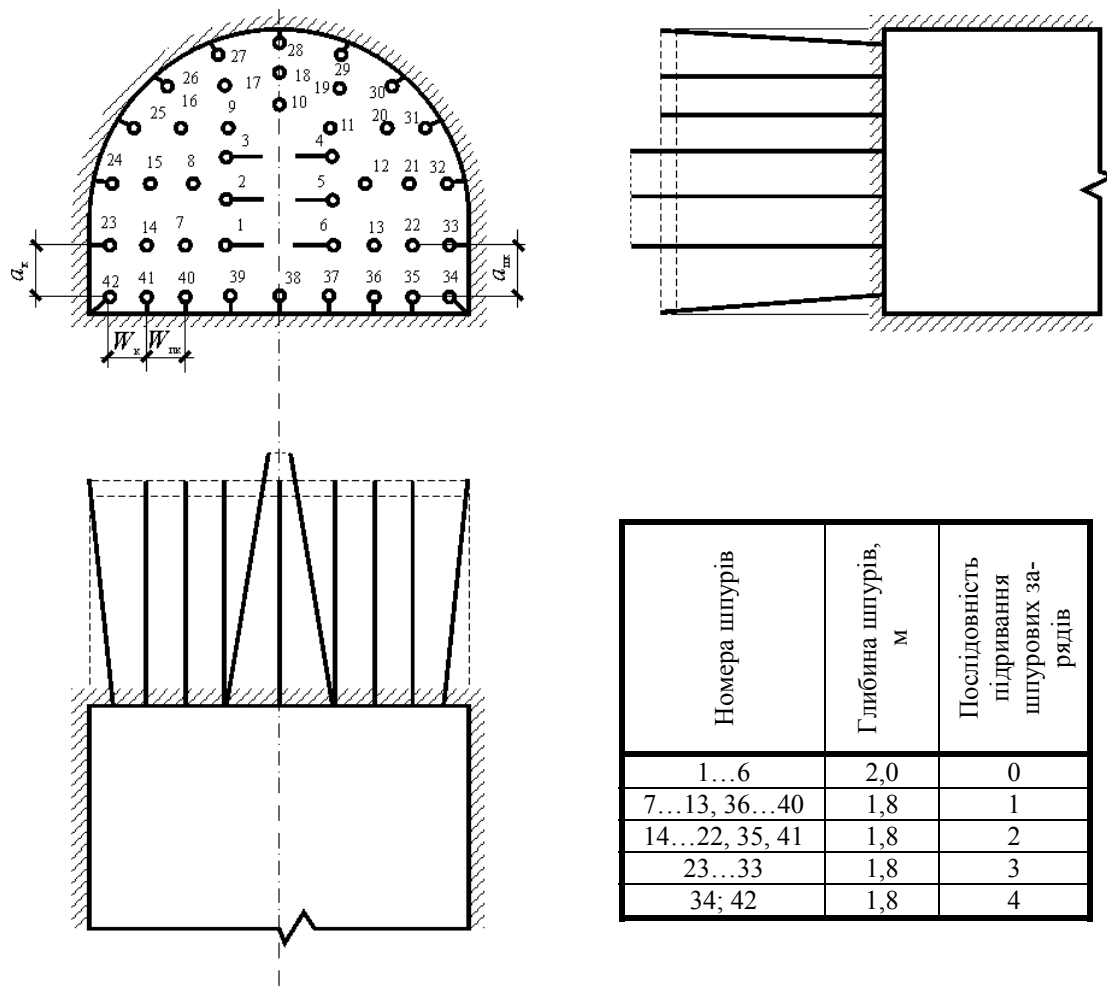


Рис. 12.1. Схема до визначення відстані між оконтурювальними a_k та передконтурними a_{pk} шпурами, а також для визначення ЛНО для цих шпурів

Перед початком робіт із проведення виробки контурним підриванням повинен бути розроблений і скоректований паспорт буропідривних робіт.

За участю наукових співробітників кафедри “Будівництво шахт і підземних споруд” Донецького політехнічного інституту було проведено кілька десятків тисяч метрів виробок на шахтах крутого падіння (№5 ім. В.І. Леніна, ім. Карла Маркса, “Кочегарня”, “Комсомолец”, “Північна”, “Олександр - Захід”, “Кондратівська - Західна” і ін.) і пологого (“Чайкіно – Глибока №1”, “Пролетарська Глибока”, “Жовтневий рудник”) із застосуванням методу контурного підривання.

Досвід свідчить, що при контурному підриванні в ряді випадків потрібно збільшити кількість шпурів по вибої. Здається, що деяке зростання обсягу робіт з буріння шпурів викликає збільшення тривалості прохідницького циклу в цілому. Однак це не так. Наприклад, досвід впровадження контурного підривання на шахтах тресту “Горлівськвуглебуд” показав, що: темпи проведення гірничих виробок у середньому зросли на 10...15%, у вибоях перебори

породи зведені до мінімуму, майже зник непродуктивний вид робіт з оббирання покрівлі і боків виробок від грудок породи, що відшаровуються, був відсутній травматизм, тому що порода, що відслонюється, виробки, не мали ніяких порушень кріплень і не перекріплялись, знизилися витрати на експлуатацію.

З'явилася можливість відмовитися від важких кріплень з монолітного бетону і металевих арок, а замість них застосувати набризк-бетон і анкерне кріплення.

На шахті ім. Румянцева при проведенні виробок контурним підриванням приствольного двору на горизонті 700 м був установлений всесоюзний рекорд: за місяць проведено 2530 м³ гірничої виробки у просвіті. На шахті “Пролетарська Глибока”, щоб прискорити підготовку нових добувних діляниць, вирішили пластові виробки, північний ухил і хідник північного ухилу по пласті l'_8 Софіївський проводити швидкісними методами. У покрівлі і підшві пласту залягали глинисті сланці. Спочатку ці виробки проводили звичайним підриванням із застосуванням амоніту ПЗВ-20 у патронах діаметром 36 мм. За добу виконувався один прохідницький цикл. При глибині шпурів 2,8 м забезпечувалося посування вибою на 2,5 м за цикл. Така швидкість була явно недостатньою. Спроба збільшити глибини шпурів не підвищила швидкість проходки через значні порушення вибуховими роботами порід покрівлі виробок і поганой їх стійкості. Застосування контурного підривання практично ліквідувало процеси тріщиноутворення в законтурному масиві, стійкість якого різко зростає. Це дозволило збільшити глибину шпурів до 4 м, а посування вибою – до 3,6 м з тією ж тривалістю циклу і тому ж кількісному складі прохідницької бригади. Швидкості проведення північного схилу і хідника північного схилу зросли з 70...80 м до 110...120 м на місяць.

Контурне підривання рекомендовано застосовувати при проведенні всіх типів гірничих виробок: горизонтальних, похилих і вертикальних, польових і пластових, капітальних і підготовчих.

Поряд з описаними відоме *контурне підривання з попереднім оконтурюванням*. Його застосовують у породах з коефіцієнтом міцності $f < 4$. За проектним контуром виробки бурять шпури (свердловини діаметром до 100 мм – на відкритих роботах) і заряджають їх через один. Відстань між робочими і холостими шпурами і заряд повинні забезпечувати щілину (тонкої тріщини) між шпурами. У даному випадку ця відстань повинна бути в 3...4 рази більша, ніж між шпурами щільного врубу, тобто відстань між сусідніми свердловинами чи шпурами повинна дорівнювати чотирьом–шістьом їх діаметрам. На іншій площі вибою розташовують шпури і заряди звичайного діаметра. Оконтурювальні шпури підривають насамперед. Продукти вибуху, діючи на породу (хоча і слабку, але в умовах багатовісного стиснення), не викликають у ній сильних порушень, але прорізають між шпурами (свердловинами) тонку щілину. Ця щілина є екраном, що перешкоджає проходженню в законтурний ма-

сив ударних хвиль і напруг, що виникають під час вибуху основних шпурових зарядів. Оконтурювальні шпурові заряди повинні бути підривані не менше ніж за 100 мс до вибуху першої серії основних зарядів. У підземних виробках даний метод застосовують рідко.

12.2. Пластове і позапластове торпедування

Торпедування – підривні роботи свердловинним методом з метою збільшення тріщинуватості гірського масиву, щоб забезпечити раптовим викидом вугілля і газу. Здійснюють у режимі струсного підривання.

12.2.1. Торпедування вугільного масиву. Торпедування як спосіб боротьби з раптовими викидами вугілля і газу застосовується на пологих, тонких і середньої потужності пластах. Виконується як з попереднім нагнітанням води у пласт, так і без нього.

Параметри торпедування: діаметр свердловин 45...60 мм, довжина свердловин, L , – 8,0...13,5 м, відстань між свердловинами 2...2,5 м.

Масу заряду, кг, в свердловині визначають за формулою:

$$Q = \gamma(L - l_n), \quad (12.9)$$

де l_n – загальна довжина набійки, м (приймають $l_n = 3,5$ м, якщо $L = 8...8,5$ м; $l_n = 4$ м, якщо $L = 8,5...9$ м, $l_n = 5$ м, якщо $L \geq 10$ м);

γ – маса 1 м заряду, кг.

Незнижуване випередження вибою свердловинами повинно бути не менше 2 м. Необхідно, щоб свердловини, розташовані в кутках вибою, виходили за контур виробки не менше ніж на 2 м.

Свердловини для пластового торпедування бурять з нахилом 4...7°, що забезпечує заповнення їх водою. Час від заливання свердловин водою до ініціювання зарядів ВР не повинен перевищувати 45 хв. Як ВМ використовують ВР класу II (скельний амонал № 1), детонувальні шнури (ДШ) і електродетонатори миттєвої дії.

Застосовують суцільний монозаряд. Його виготовляють у виробці у спеціально відведеному місці. Патрони ВР укладають в один ряд торець до торця, упритул один до одного. Уздовж патронів по довжині заряду прокладають дві нитки детонувального шнура, а якщо заряд понад 3 кг – додатково прядив'яну мотузку. Патрони ВР разом зі шнуром і мотузкою обв'язують шпагатом чи поміщають у спеціальний рукав завширшки (у складеному вигляді) 60 мм, що зшитий із суворої бязі. Заряд ініціюють двома послідовно розташованими патронами-бойовиками. З'єднання ЕД в одному заряді паралельне, а приєднання до вибухової мережі – послідовне.

Свердловини діаметром 55...60 мм заряджають складеними згвинченими металевими досильниками, виготовленими зі сталевго дрогоа діаметром 10 мм, що має вилку на кінці для захоплення петлі мотузки, на якій монтується заряд ВР для досилання його у свердловину, свердловини діаметром 45 мм – за допомогою згвинчених дерев'яних набійників, коли вода нагнічена у пласт. Після заряджання свердловин їх устя герметизують на глибину 0,2 м піщаноглиняною набійкою, у якій залишають отвір діаметром 10...15 мм для заливання свердловини водою. Заряди підривають за один прийом, їх кількість не повинна перевищувати 10.

12.2.2. Передове торпедування. Для запобігання раптовим викидам вугілля і газу, зниженню інтенсивності осідання важкообрушуваних порід основної покрівлі в очисних вибоях та у інших випадках нерідко виникає необхідність підривання свердловинних зарядів, маса яких досягає кількох сотень кілограм (рис. 12.2, а).

Параметри свердловинного методу підривання при передовому торпедуванні: діаметр свердловини – 76...112 мм, довжина свердловин – 30...110 м і більше, діаметр монозаряду – 55...70 мм, довжина монозаряду – 10...55 м і більше, маса заряду у свердловині – 50...210 кг і більше.

Найсучасніша схема заряджання свердловин, прийнята в шахтах Донбасу, полягає у наступному. З патронів ВР виготовляється монозаряд діаметром, що на 20...25 мм менше за діаметру свердловини. Для цього патрони поміщають у поліетиленовий рукав (через кишені) упритул один до одного. Монозаряд закріплюють до металевго троса, перекинутого через блок стопорного елемента, розташованого у вибою свердловини. Цим тросом його за допомогою пневматичної лебідки затягують у свердловину до проектноі відмітки.

Передове торпедування – складна і дуже небезпечна операція. Підривання в шахтах, небезпечних щодо газу і пилу, свердловинних зарядів великої маси вимагає застосування спеціальних технічних засобів і заходів щодо попередження займання пилометаноповітряних сумішей.

У зв'язку з тим, що підривання свердловинних зарядів виконується у глибині монолітного нетріщинуватого масиву, вплив джерел високої температури, що супроводжують детонацію ВР, на шахтну атмосферу можливий лише з боку устя свердловини. У цих умовах особливого значення набуває набійка, розташована у вільній від заряду частині свердловини. Для охолодження продуктів детонації, різного роду розпечених часток, що викидаються з устя свердловини, найефективнішим за теплофізичними властивостями забоечним матеріалом є вода. Тому на першому етапі застосовувалася гідронабійка.

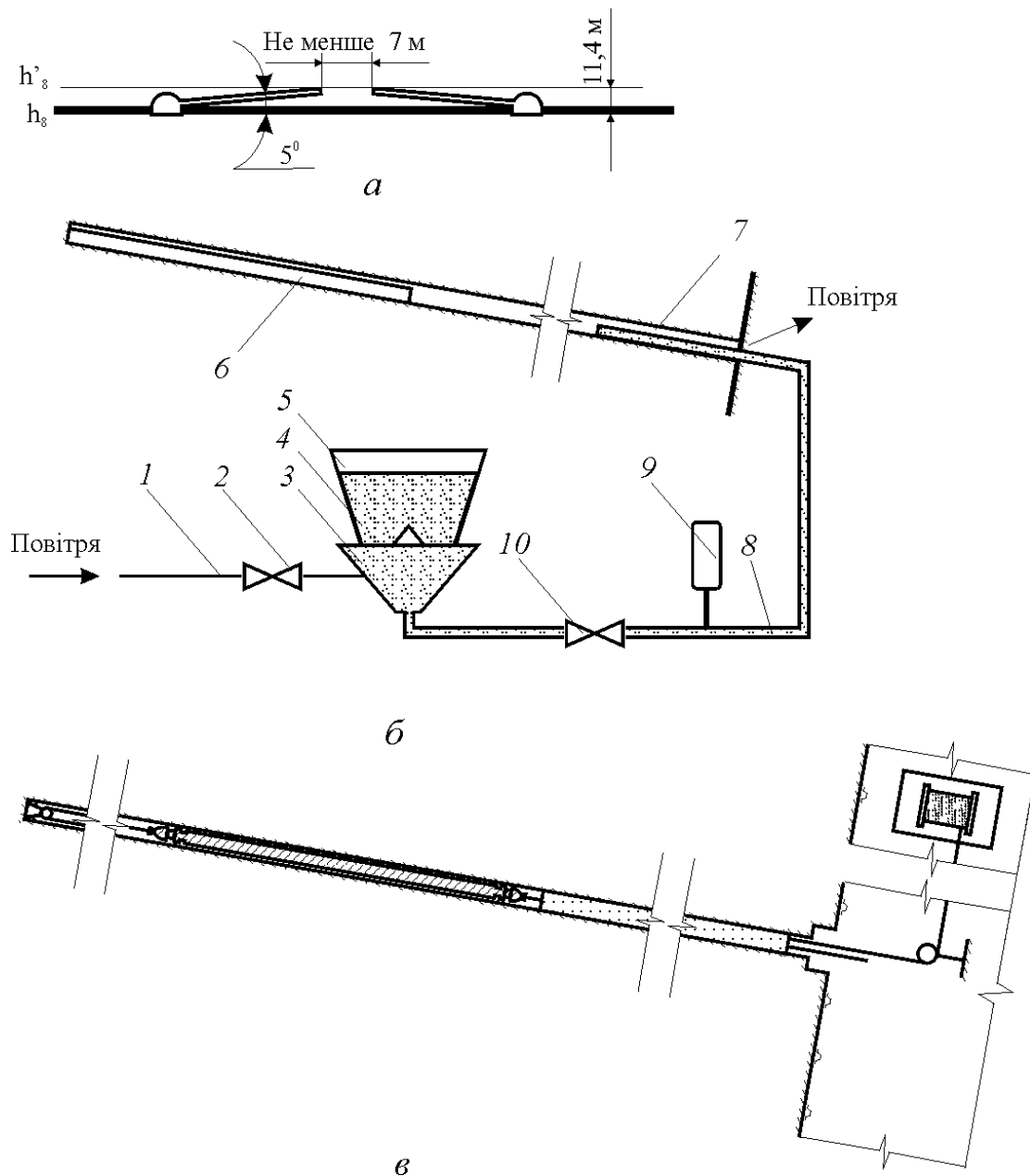


Рис. 12.2. Схема заряджання свердловин при передовому торпедуванні:
а – схема розташування свердловин над вугільним пластом; *б* – схема формування набійки в свердловині при камуфлетному підірванні; *в* – конструкція свердловинного монозаряду ВР:

1 – повітропровід; 2 – клапан; 3 – дозувальна камера; 4 – запірний конус; 5 – приймальний бункер; 6 – заряд ВР; 7 – свердловина; 8 – зарядний трубопровід; 9 – резервуар з водою; 10 – вентиль

З цією метою одночасно з монозарядом у свердловину затягувалася спеціальна поліетиленова ампула (шланг), яка потім заповнювалася водою. Устя свердловини герметизувалось за допомогою глиняної пробки чи гідрозатвору. Однак конструкція набійки мала низьку вибухозахисну ефективність через те, що поліетиленові ампули розривалися (при заряджанні чи

заповненні) і вода випливала зі свердловин, або через просте незаповнення ампул водою на всю їх довжину.

Технологія заряджання і підривання свердловинних зарядів характеризувалася підвищеною небезпекою виникнення аварій, пов'язаних з вибухами і пожежами у шахтах. Про це свідчать випадки спалахування пилогазоповітряних сумішей, що виникали під час вибуху свердловинних зарядів амоніту Т-19 на шахті “Молодогвардійська” ВО “Краснодон-вугілля” і ш/у “Донбас” ВО “Донецьквугілля”. У виробках зі свіжим струменем повітря, з яких бурилися свердловини, виявлялися сліди впливу високотемпературних продуктів вибуху (оплавлений телефонний кабель, обвуглене дерев'яне кріплення, обгорілі вентиляційні труби), “коксик” на кріпленні, що свідчив про вибух вугільного пилу, а також відкрите полум'я (жовтогарячого кольору) поряд з устям свердловини.

Виникнення аварійних ситуацій зумовлюється викидом у гірничі виробки продуктів детонації, що містять 25...35 м³ горючих газів (11...13% загального об'єму), у яких присутні в основному водень, оксид вуглецю і метан. У результаті відбувається вільне горіння значених газів у виробці, що само по собі становить значну небезпеку для людей як джерело можливої пожежі, а також може викликати запалення метано- та пилоповітряної сумішей.

До того ж наявність поліетиленової плівкової оболонки навколо заряду ВР і сталевого тросу у свердловині значно збільшує розміри полум'я і дальність розльоту іскор. Крім того, під час вибуху значних мас ВР у привибійному просторі виробки формується ударна хвиля і викидаються продукти вибуху, що призводить до пошкодження кріплення і устаткування. Комплексне вирішення цієї проблеми було досягнуто за рахунок підривання свердловинних зарядів у режимі повного камуфлету, тобто підривання без викиду набійки зі свердловини у виробку, з якої вона пробурена.

Камуфлетне підривання було забезпечене за рахунок застосування сипучої набійки ВМК-1, що представляє собою зволожену суміш гранульованого карбоніду і порошкового хлориду калію в співвідношенні 3:1. Набійка ВМК-1 подається в свердловину стисненим повітрям по гнучкому зарядному трубопроводу з внутрішнім діаметром 25...32 мм за допомогою порціонного зарядника ЗМК-1 (рис. 12.2, б). Вона здатна утримуватися у свердловині великого діаметра (до 112 мм), у тому числі підняттях (з кутом підняття до 60°) без застосування додаткових герметизувальних засобів (рис. 12.2, в).

Після підривання заряду така набійка ущільнюється (особливо середня її частина) до монолітного стану і завдяки цьому не викидається зі свердловини. Продукти вибуху поступово витікають з камуфлетної порожнини через тріщини в масиві і через дірчасту набійку, і вже через 30...40 хв надлишковий тиск у свердловині відсутній (установлено теоретично

і підтверджено експериментально штучним вимиванням набійки і висмикуванням сталевого тросу після підривання).

Для випадку підривання амоніту 63В чи Т-19 у свердловинах завдовжки 30...110 м із набійкою ВМК-1 довжиною 15...45 м при співвідношенні між діаметром заряду цих ВР і свердловини ($d_{\text{зар}}/d_{\text{скв}}$) рівних 55:76, 65:93, 70:105 і 70:112 можна користуватися для визначення довжини набійки, при якій досягається камуфлет, що впливає з емпіричної формули

$$l_{\text{з.кам}} = 1,27l_{\text{зар}}(d_{\text{зар}}/d_{\text{скв}})^2, \quad (12.10)$$

Підкреслимо, що, крім замикаючої ефективності, набійка ВМК-1 має високі теплофізичні і флегматизуючі властивості. Тому навіть у випадку викидання її зі свердловини (у результаті порушення параметрів) вона здатна надійно запобігти займанню пилогазоповітряних сумішей. Разом з тим для безпечного підривання свердловинних зарядів треба виконувати додаткові вимоги ЄПБ відповідно до Інструкції з передового торпедування.

12.3. Особливості виконання підривних робіт у штучно заморожених породах та у зацементованій зоні

Будівництво гірничих виробок у складних гірничо-геологічних умовах виконується спеціальними способами. Зокрема, у пухких, нестійких, водонасичених породах (пливунах) застосовують штучне заморожування гірських порід, а у міцних, сильнопористих і тріщинуватих породах з великими припливами води, попередньо заповнюють пори матеріалом, здатним тверднути у присутності води і перекривати її рух навколо виробки, наприклад, цементують.

У зв'язку з небезпекою порушення захисного льодопорідного чи зацементованого циліндру (огороження), а також заморожувальних стовпчиків виймання породи вибуховим способом у цих зонах варто здійснювати з дотриманням таких пересторог:

витрата ВР на 1 м³ породи – 0,3...0,5 кг;

небезпечну зону проходити короткими заходками із застосуванням шпурів заглибшки 1...1,5 м;

відстань кола розташування оконтурювальних шпурів від стінок ствола – не менше 0,3 м, а від заморожувальних колонок – не менше 1,1...1,2 м;

як запобіжне середовище (якщо воно потрібно) застосовувати тільки аерозольні порошкові завіси (див. роз. 16).

12.4. Особливості примусового обрушення покрівлі в очисних вибоях підтриманням шпурових зарядів

У шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, примусове обрушення покрівлі в очисних вибоях підтриманням шпурових зарядів дозволяється здійснювати при суворому виконанні спеціальних заходів. Цей спосіб застосовують в лавах, які мають у покрівлі пласта важкообрушувані породи потужністю 3...6 м. Треба пам'ятати, що це дуже небезпечно з позиції можливого займання вибухонебезпечних сумішей операція – у виробленому просторі практично завжди є метан!

Основні заходи:

шпури бурять у покрівлі пласта з боку вибою лави під кутом 60...65° до горизонтальної площини в один чи два паралельних вибою лави ряду. Відстань між шпурами в ряді беруть кратним інтервалу між стояками кріплення по довжині лави – 0,9...2 м, відстань між рядами шпурів кратна кроку посадки покрівлі в межах 1...4 м;

посадкове кріплення пересувають тільки після закінчення буріння шпурів. Однак у виробленому просторі залишають спеціально встановлені стійки, щоб запобігти деформації шпурів і зарядів. Відстань від устя шпурів до встановленого ряду посадкового кріплення повинна дорівнювати половині потужності пласта;

якщо примусове обрушення покрівлі здійснюється окремими ділянками по довжині лави (у кілька прийомів), то підривні роботи повинні виконувати лише знизу нагору (ділянки розділяються органним кріпленням);

при підриванні по породі міцністю до 6 потрібно застосовувати ВР класу V, а якщо породи міцніші – класу IV;

відстань від шпурів до найближчих заколів і тріщин повинна бути не менша за 0,3 м;

підривні роботи слід проводити в режимі струсного підривання;

необхідно створювати запобіжне середовище, а також використовувати гідронабіжку, причому одну ампулу доцільно розмістити біля дна шпуру, а другу – з боку устя (донно-гирлова набійка) (див. роз. 13).

Глава 13

Додаткові способи і засоби забезпечення безпеки підричних робіт у шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу

Існуючий комплекс заходів з метою застереження займання горючих сумішей включає в себе як заходи і засоби зниження концентрації газу і пилу до вибухонебезпечних меж, так заходи і засоби, спрямовані на усунення причин появи джерел високої температури.

Основним напрямком забезпечення безпеки підричних робіт у шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, є застосування запобіжних вибухових речовин і електродетонаторів, а також короткоуповільненого підривання. Однак специфіка гірничих робіт не в змозі цілком виключити утворення вибухонебезпечного середовища і появу джерел її займання. Тому абсолютна безпека підричних робіт у небезпечних умовах шахт забезпечується лише в сполученні з додатковою системою заходів вибухозахисту. Така система здатна придушити (локалізувати) у початковій стадії розвитку спалахування пило- чи метаноповітряної суміші, що вже почалося, і тим самим попередити розвиток вибуху по мережі гірничих виробок з катастрофічними наслідками. Вона включає обов'язкову ізоляцію шпуру під час вибуху (набійка), зниження вибухової здатності забійного простору (осланцювання, зрошення) і утворення охоронного середовища (завіси), яке попереджує і у привібійному просторі локалізує вибухи (спалахи).

13.1. Набійка шпурів

У переліку умов, що забезпечують високий ступінь безпеки підричних робіт у шахтах, небезпечних щодо газу чи розробляючих пласти, які небезпечні через вибухи пилу, однією з найістотніших є обов'язкове застосування доброякісної, ретельно виконаної набійки.

Набійка шпурів – це негорючий матеріал, розміщений у вільній від заряду ВР частині шпуру, який забезпечує його замкненість. Забороняється як набійку застосовувати горючі матеріали, тому що, загоряючись чи розжарюючись у шпурі, вони можуть викликати спалахнення метану і вугільного пилу після викидання у виробку, що особливо небезпечно у випадку вигорання ВР у шпурах.

Застосовується набійка (рис. 13.1): з пластичних і сипучих зернистих матеріалів, гідронабійка та інгібіторна.

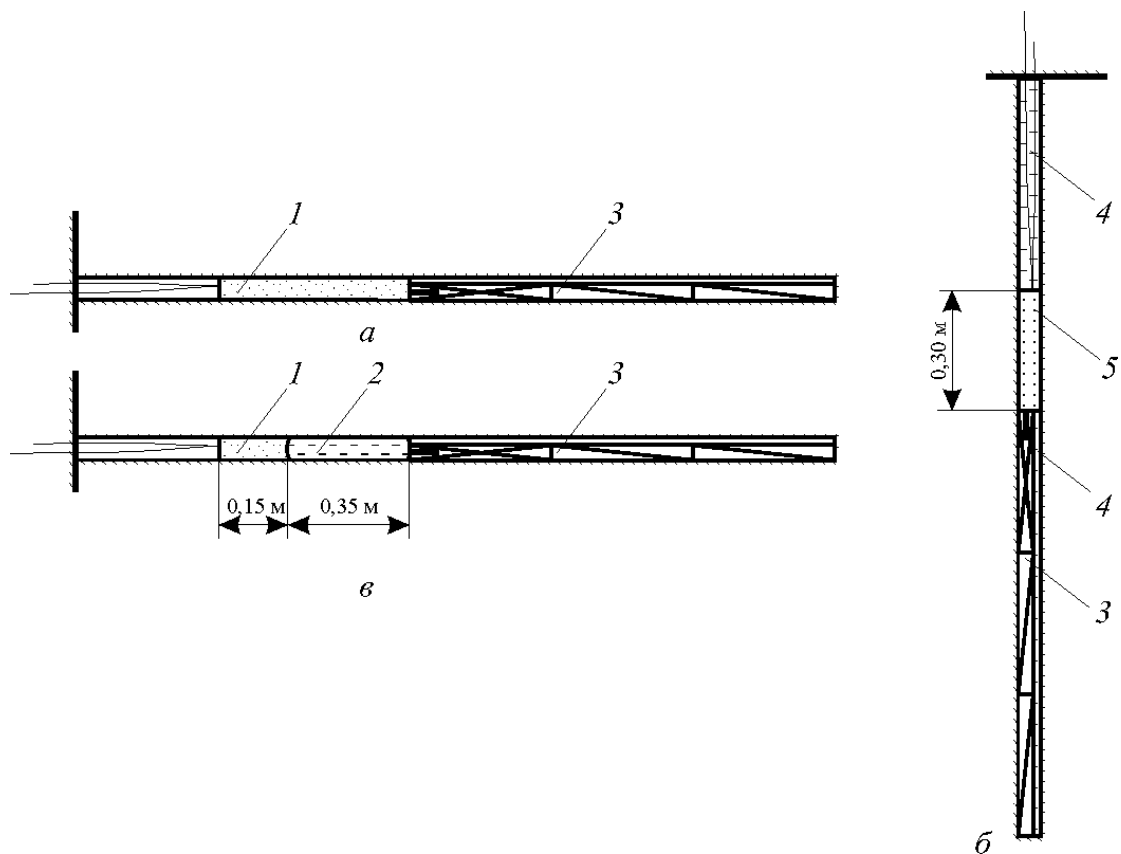


Рис. 13.1. Конструкція шпурового заряду и набійки

a – піщано-глиниста набійка;

б – набійка із сипучих матеріалів у сполученні з водяною;

в – гідронабійка (інгібіторна набійка) в поліетиленовій ампулі

1 – піщано-глиниста суміш;

2 – поліетиленова ампула із зворотним клапаном, заповнена водою чи інгібітором;

3 – шпуровий заряд ВР; 4 – вода; 5 – сипучий матеріал (пісок, граншлак і ін.)

Із пластичних матеріалів найбільш ефективною є піщано-глиниста суміш, що складається з однієї частини жирної глини і трьох частин грубозернистого піску при вологості 14...15% (див. рис. 13.1, *a*). Використовується у вигляді пластичних «пижів» діаметром 32...36 мм і завдовжки 100...150 мм, що у шпурі (у заряду ВР) роздавлюються на повний його переріз. Як самостійний вид набійки її допускається застосовувати тільки у вибоях пластових виробок, у яких відсутнє виділення метану і вибухового вугільного пилу, а також у польових виробках незалежно від метановиділення.

Набійка із *сипучих матеріалів* (піску чи гранульованого шлаку) подається у шпури за допомогою спеціальних зарядчиків чи самопливом (у вертикальні і похилі шпури з кутом нахилу більше 60°) на повний їх переріз (рис. 13.1, *б*). За інших рівних умов досягається кращий ефект вибуху, ніж у випадку піщано-глинистої набійки. Використовується лише при проходці вертикальних стволів.

Гідронабійка застосовується в двох варіантах: безпосереднім заливанням води в похилі (вертикальні) шпури (рис. 13.1, *б*) та у вигляді водонаповнених поліетиленових ампул

зі зворотним клапаном діаметром 37...38 мм, завдовжки 350 мм і місткістю 250...280 мл – не менше однієї ампули на шпур (див. рис. 13.1, в).

Інгібіторна набійка виконана на основі вибухопригнічуваного порошку КСВ-30, що складається із суміші вуглекислого кальцію (крейди) і хлориду натрію з добавкою поверхнево активної речовини (ПАР). Застосовується у вигляді пастоподібної маси, містить 13...20% води, що патронується в поліетиленові ампули (набійка ПЗМ-3), які використовуються для гідронабійки (див. рис. 13.1, в).

Гідронабійку та інгібіторну набійку можна застосовувати у всіх виробках, у тому числі в тих, у яких є виділення метану і вибуховий вугільний пил. У виробках, проведених по порушеному масиві й в інших вибухонебезпечних умовах доцільно застосовувати донно-гирлову гідронабійку, при якій додатково біля дна шпуру (перед зарядом) розташовується ампула гідронабійки.

Для запобігання розсунення патронів, викидання води й ампул з водою зі шпуру, а також з метою виключення можливості прориву у виробку продуктів вибуху по радіальному зазору між стінками шпуру і поверхнею ампули, водяна і інгібіторна набійка повинні застосовуватися лише у сполученні з замикаючою набійкою з глини чи суміші глини з піском завдовжки не менше 15 см (рис. 16.1, в) чи із сипучих грубозернистих матеріалів довжиною не менше 30 см (див. рис. 16.1, б). У першому випадку замикаюча набійка повинна приєднуватися до патронуваної набійки і цілком перекривати поперечний переріз шпуру, а у другому – розташовується поряд із зарядом ВР.

Призначення набійки шпурів:

а) забезпечення високого КВШ, а отже, максимального використання потенційної енергії вибуху на відрив породи, тобто на корисну роботу руйнування.

На перший погляд здається, що набійка, що має значно меншу міцність, ніж масив, що підривається, не може зробити достатнього опору тиску газів, що утворюються під час вибуху ВР. Однак встановлено, що при тих величезних швидкостях, з якими відбувається вибух, набійка чинить значний опір і затримує продукти вибуху усередині шпуру на час, достатній для здійснення корисної роботи з руйнування масиву, що підривається. Одночасно при холостих вибухах продукти детонації ВР, які не встигли охолонути, будуть викинуті зі шпурів у рудникову атмосферу з більш високою температурою і під великим тиском, що збільшує небезпеку спалахнення метано- і пилоповітряних сумішей. Крім того, у результаті холостих вибухів у масиві породи все-таки утворюються тріщини, тому повторне буравлення, заряджання і підривання в тріщинуватих вибоях є небезпечним, оскільки тріщини можуть перетинати заряди ВР і полум'я їхнього вибуху, потрапивши у призабойний простір виробки, може запалити вибухову метано- і пилоповітряну суміш.

При застосуванні гідронабійки КВШ підвищується на 10%, запиленість знижується на 40...60% ;

б) охолодження розпечених продуктів вибуху до безпечних меж за рахунок тепловідбору і втрати енергії при розширенні в інертному середовищі;

в) забезпечення стійкості детонації шпурового заряду: запобіганням розсунення патронів ВР у зближених шпурах, перешкоджанням розвитку відкольних явищ у шпурах, заповнених водою, і створення умов переходу горіння у детонацію.

Горіння ВР при визначеному тиску (наприклад, для амоніту Т-19 при 60 МПа) може переходити у детонацію. У практиці вибухової справи добре відомий факт підвищення стійкості детонації шпурового заряду при застосуванні міцної набійки.

г) флегматизація рудничної атмосфери привибійного простору викинутим зі шпурів (у вигляді аерозоля) набійним матеріалом. Дуже тривалий час існувала думка, що набійка з глини чи суміші глини з піском (а, отже, із пластичної інгібіторної маси) при вибуху заряду ВР у шпурі, пробуреному в міцній породі, викидається зі шпуру окремим суцільним шматком аналогічно пробці, що вилітає з шийки пляшки. Вважалося, що гази вибуху, що вилітають слідом за глиняною пробкою, мають високу температуру і можуть запалити метан чи вугільний пил. Однак швидкісна кінозйомка показала, що під час вибуху заряду набійка з каналу викидається у вигляді потоку з окремих часток, тобто у вигляді аерозоля набійного матеріалу набійки, змішаного з продуктами вибуху, що призводить до зниження у визначених умовах підривання кількості отруйних газів, що утворюються. Наприклад, гідронабійка у випадку застосування ВР класів V і VI знижує сумарний об'єм отруйних газів у порівнянні з піщано-глинястою набійкою у 1,5 рази.

Практикою ведення підривних робіт на рудних шахтах Кривбасу встановлено, що застосування піщано-глинястої набійки в порівнянні з підриванням таких же зарядів без набійки дозволяє зменшити кількість отруйних газів, що утворюються під час вибуху: у сухих вибоях більше ніж у 2,5 рази, в обводнених – у 1,5 рази.

При підриванні зарядів по вугіллю і по породі набійка повинна дорівнювати: при довжині шпурів від 0,6 до 1 м – не менше половини довжини шпурів; понад 1 м – не менше 0,5 м.

Параметри й умови ефективного застосування матеріалів визначені нормативними документами.

13.2. Зрошення й осланцювання вугільного пилу, що відклався

Для вибухозахисту шахт, що розробляють пласти, небезпечні за вибухами пилу, здійснюються заходи щодо попередження вибухів вугільного пилу, що відклався, при підричних роботах у вибоях виробок, які проводяться по вугіллю чи по вугіллю з підриванням бічних порід. Заходи щодо попередження вибухів ґрунтуються на застосуванні зрошення чи осланцювання.

Суть *способу зрошення* полягає в нейтралізації осілого пилу шляхом його змочування до вологості, при якій він не може бути приведений до завислого стану і вибухнути. До того ж “свіжий” вугільний пил, що накопичується поверх зволоженого пилу, також зволожується в процесі випаровування води і тому протягом визначеного часу виробка підтримується в пиловибухозахисному стані. Гранично припустима вологість для пилу, що відкладався на покрівлі і на боках виробки повинна бути не менше 17%, а на підшві – не менше 12%.

Спосіб зрошення осілого пилу водними розчинами зволожувача ДБ (0,1...0,2%-вими) завдяки простоті і високій ефективності набув широкого застосування при підричних роботах у тупикових гірничих виробках. Зволоження виконують за 20...30 хв до підричних робіт.

У вугільних вибоях його необхідно застосовувати перед кожним прийомом підривання, а при підриванні по породі – один раз на два прийоми.

При зрошенні пил, що відклався у виробках на відстані 20 м від вибою, повинен бути перетворений в шлам (бруд), що є гарантією безпеки.

Візуальний контроль за станом вугільного пилу, що відклався, повинен здійснюватися перед кожним підриванням.

Для диспергування розчину у вибоях підготовчих виробок доцільніше застосовувати ручний зрошувач РЗ-1 із внутрішнім дозуванням ДБ. Для дозування зволожувача можуть застосовуватися також дозатори ДСУ-3 чи ДСУ-4.

Суть *осланцювання* полягає в штучному озоленні вугільного пилу, що осів на поверхні виробок, додаванням до нього негорючого (інертного) пилу в такій кількості, щоб він втратив здатність вибухати. При осланцюванні бок, покрівля і підшва виробки повинні бути покриті суцільним шаром інертного пилу. При переході у завислий стан осланцюваних пилових нашарувань вугільний пил втрачає здатність до спалахування в присутності теплового джерела внаслідок поглинання енергії інертним пилом.

Безсумнівна перевага осланцювання перед зрошенням у тому, що один раз внесений у вугільний пил інертний пил назавжди змішується з ним, підвищуючи природну зольність вугілля і знижуючи тим самим її вибуховість.

Осланцювання дозволяє здійснювати оперативний візуальний контроль стану виробок. За результатами лабораторних досліджень кількості негорючих речовин у відібраних пробах пилу можна об'єктивно судити про пиловибухонебезпечність виробки.

Осланцювання доцільно застосовувати у сухих (не обводнених і без капежу) виробках, у тому числі із здимаючими, легкорозмиваючими породами. У інших випадках рекомендовано застосовувати зрошення.

13.3. Запобіжне середовище

Для забезпечення безпеки підривних робіт у вугільних шахтах небезпечним, щодо газу чи пилу, у привибійному просторі виробок перед підриванням шпурових зарядів треба створювати запобіжне середовище, тобто такі умови, які б виключили чи локалізували аварії у початковій стадії її розвитку навіть при наявності вибухонебезпечної суміші в привибійному просторі і джерел її займання.

13.3.1. Запобіжна завіса. Запобіжну завісу створюють шляхом розпилення води чи порошкового інгібітору з поліетиленових посудин (пакетів) вибухом заряду ВР не нижче V класу. Під дією вибуху відбувається інтенсивне перемішування крапель води (часток порошку) із шахтною атмосферою (рис.13.2), перетворюючи її в невибухову систему. Таке за-

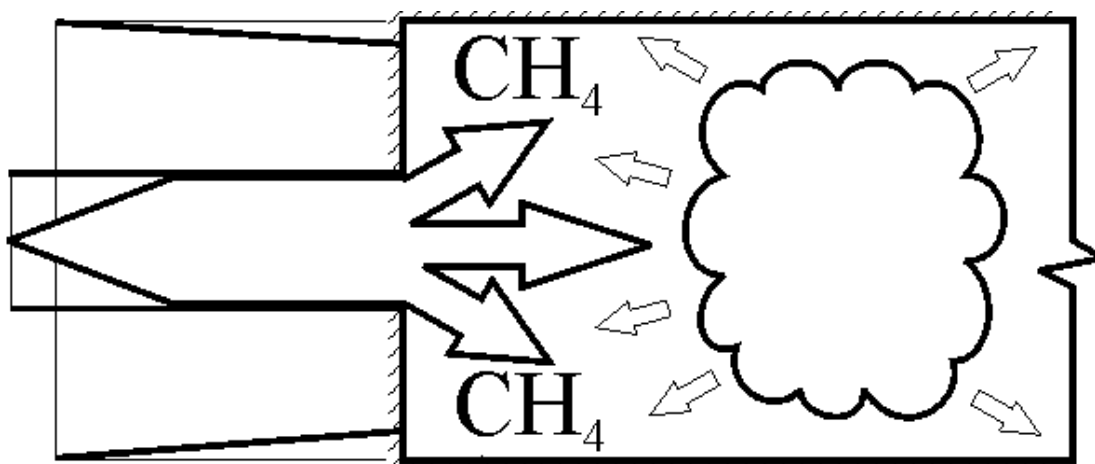


Рис. 13.2. Принцип дії запобіжної завіси

побіжне середовище називають *запобіжною завісою*.

Як запобіжне середовище можуть бути: водорозпилювальні і аерозольні порошкові завіси.

Для створення *водорозпилювальної завіси* застосовують поліетиленові посудини місткістю 20 і 30 л. Судини першого типорозміру з водою підвішують до кріплення, а другого укладають на підшві виробки (рис. 13.3).

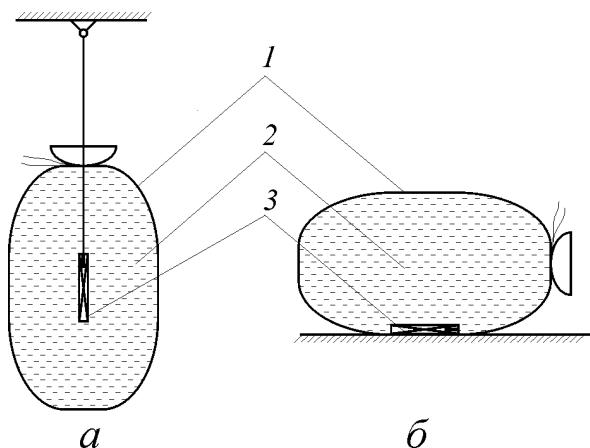


Рис. 13.3. Споряджені поліетиленові посудини для створення водорозпилювальної завіси

а – підвішені до кріплення;

б – розташовані на підшві виробки;

1 – поліетиленова судина; *2* – вода; *3* – розпилювальний заряд ВР

Поліетиленові посудини для водорозпилювальних завіс повинні видаватися майстру-підбивнику одночасно з ВР на складі ВМ відповідно до наряду-путівки, у якій указується їх кількість. Заповнюють їх водою безпосередньо перед підбиванням шпурових зарядів ВР.

При створенні *аерозольних порошкових завіс* застосовують порошкові інгібітори (ПСБ-ТМ, ПВХ-1н, КСВ-30), що вміщують у поліетиленові пакети місткістю $3 \pm 0,3$ кг і $5,5 \pm 0,5$ кг і розпорошують вибуховим способом. Як і при водорозпилювальних завісах, пакети з інгібітором і зарядом ВР підвішують до кріплення й

укладають на підшві виробки. Пакети з інгібіторами поставляються на шахту герметично закритими.

Уведення зарядів ВР у судини з водою й у пакети з порошковим інгібітором повинне здійснюватися лише майстром-підбивником після заряджання шпурів перед початком монтажу вибухової мережі.

Електродетонатори розпорошувальних зарядів, у посудинах з водою й у пакетах з порошковим інгібітором повинні з'єднуватися в загальну вибухову мережу з електродетонаторами шпурових зарядів послідовно і вибухати від одного вибухового імпульсу.

Один з найважливіших параметрів запобіжного середовища – час його ефективної дії, тобто час, протягом якого концентрація диспергованої води (порошкового інгібітору) залишається не нижче флегматизуючої, тобто величини, при якій метано- і пилоповітряна суміш не здатні запалитися. Він повинен бути більшим за загальний час підбивання шпурових зарядів, але не менше 500 мс.

Для реалізації цієї умови норма витрати води передбачається не менше 4 л на 1 м^2 площі поперечного перерізу виробки начорно, а порошкового інгібітору – не менш 1,5 кг. У особливо вибухонебезпечних умовах (при струсному підбиванні, при наявності в привибійному просторі суфлярних виділень метану, а також при породному) витрату води і порошкового інгібітору треба брати в 2 рази більшою, тобто не менше 8 і 3 кг/м^2 відповідно. Поліетиленові посудини (пакети) слід в цьому випадку розташовувати уздовж осі виробки в два ря-

ди. У вибоях підготовчих виробок із двома відкритими поверхнями, у тому числі при породному підриванні, другий ряд посудин повинен розташовуватися у випереджувальній порожнині (рис 13.4).

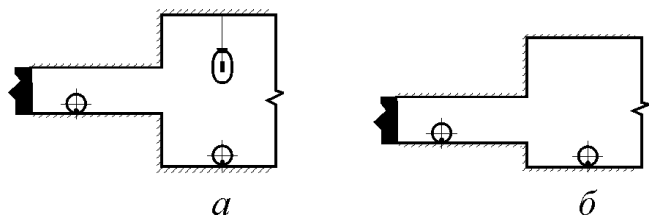


Рис. 13.4. Принципова схема розташування приладів для створення запобіжної завіси при породному підриванні: у виробці висотою до 2 м (а) і більше 3,5 м (б)

Така двухрядна завіса одержала назву *локалізуючої*. Її довжина становить не менш 7 м (довжина однорядної водорозпилюючої завіси дорівнює 4,5 м, а аерозольної порошкової – 4 м). Цієї довжини досить (більш ніж із двократним запасом), щоб забезпечити локалізацію (гасіння) нерозпечених

продуктів вибуху шпурових зарядів, але і невелике (до 5 м³) джерело займання метаноповітряної суміші. Просторові схеми розміщення споряджених посудин (пакетів) у виробках залежно від їх поперечних розмірів, ступеня вибухонебезпечності та кількості відкритих поверхонь, наведені на рис. 13.5.

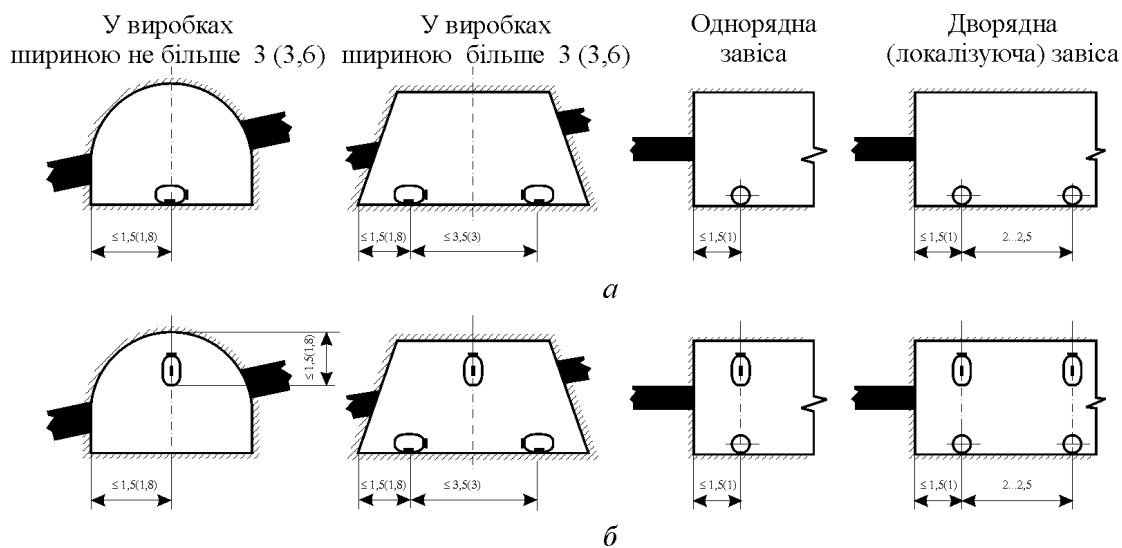


Рис. 13.5. Схеми розташування приладів (споряджених поліетиленових посудин) в привибійному просторі гірничих виробок висотою 2 м (а) і понад 3,5 м (б) для створення запобіжного середовища при підривних роботах. У дужках наведені розміри, м, для аерозольної порошкової завіси

Умови і порядок застосування й аерозольних порошкових завіс визначають за нормативними документами.

13.3.2. Тривало діюче запобіжне середовище. Як показали випробування, проведені в дослідному штреку МакНДІ, фактичний час ефективної дії водорозпилювальної завіси дорівнює 1 с, а аерозольної порошкової – більше 1,5 с.

Цього часу достатньо, щоб попередити спалахування газопилоповітряної суміші від можливих під час підривних робіт джерел займання, окрім заряду ВР, що вигоряє. Час вигорання може бути 10...12 хв і більше, тобто на декілька порядків перевищувати вибухонебезпечний період запобіжних завіс. Тому у всіх країнах, які видобувають вугілля, постійно ведуться пошуки так званого запобіжного середовища, яке б діяло значний час, тобто здатного флегматизувати рудникову атмосферу протягом зазначеного часу і тим самим попередити спалахування метану і вугільного пилу від вигорання заряду ВР і від невибухових джерел, появу яких неможливо спрогнозувати.

Перше таке середовище, яке знайшло широке застосування практично в усіх вугільних басейнах Радянського Союзу, було запобіжне середовище із *повітряно-механічних пін*.

Суть способу полягає у тому, що привибійний простір виробки перед виконанням підривних робіт дистанційно (на відстані 100...200 м) заповнюється (за 2...5 хв) високократною (кратність більше 300) повітряно-механічною піною на довжину не менше 10 м.

Повітряно-механічна піна витісняє із привибійного простіру суміш вибухонебезпечних газів і заміщує її масою піни, яка характеризується високою полум'ягасною здатністю. Під час дії високої температури, плівкова вода швидко перетворюється в пар, поглинаючи велику кількість теплоти. Окрім цього, піна рівномірно зволожує стіни, покрівлю виробки, відбиту гірничу масу і дозволяє відмовитися від їх зрошення. Через складність контролювання за стабільністю параметрів піноутворення і заповнення виробки піною цей спосіб практично не застосовується.

У 1993-1995 рр. МакНДІ були розроблені, виготовлені і впроваджені в шахтах водоповітряні завіси з застосуванням генератора тонкодисперсних водяних аерозолів ГПВ (гідропневматичний вибухозахисний). Схема утворення запобіжного середовища, яке діє довгий час, генератором наведена на рис. 13.6. Умови застосування ГПВ наведені у нормативних документах.

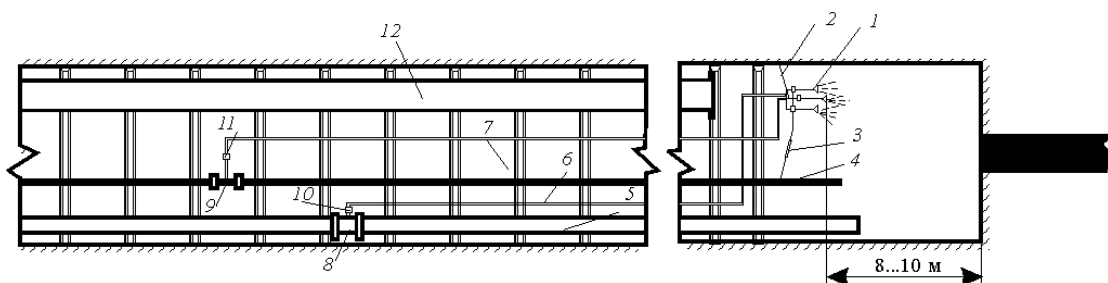


Рис. 13.6. Схема розміщення генератора ГПВ у гірничій виробці:

1 – генератор ГПВ; 2 – розтяжка; 3 – натяжне обладнання; 4 і 12 – трубопровід стислого повітря і вентиляційний; 5 – водопровід; 6 і 7 – шланги для підводу води і стислого повітря; 8 і 9 – трійники; 10 і 11 – вентилі

Технічна характеристика ГПВ-3 (генератора з трьома розпилювачами)

Діаметр вихідного отвору водяного сопла, мм.....	5
Тиск стислого повітря, Мпа.....	0,3...0,6
Тиск води, Мпа.....	0,5...1,5
Витрата стислого повітря, м ³ /с.....	0,12...0,24
Витрата води, л/с.....	1,5...2,4
Площина факелу на відстані 8м від генератору, м ²	15
Ефективна довжина завіси, м.....	9
Габаритні розміри, м:	
Довжи-на.....	0,3
Шири-на.....	0,40...0,75
Висота.....	0,2...0,3

Генератор включає два-п'ять (залежно від площі поперечного перерізу виробки) гідропневматичних розпилювачів, зібраних в один блок за допомогою стандартних сантехнічних з'єднань і гумотканинних шлангів. Розпилювач, який входить до генератора тонкодисперсних водяних аерозолів, складається із коаксіально розташованих повітряного і водяного сопел, перед якими жорстко кріпиться розпилювальний конус з кутом конусності не більше 60°.

Час безперервної роботи генератора (вказаний в паспорті БПР) повинен бути не менше 10 хв. Причому включення генератору в роботу проводиться не пізніше ніж за 2...3 хв до підривання шпурових зарядів.

Генератор ГПВ повинен розташовуватися попереду вентиляційного трубопроводу чи збоку від нього таким чином, щоб факел водяної завіси посувався до забою виробки разом зі свіжим повітрям, яке подається. При цьому відстань від генератора до вибою повинна бути не більше 9 м. Правильність розташування генератора у вибої виробки визначається короткочасним включенням його в роботу. При цьому повітряна завіса повинна сягати вибою і перекривати переріз виробки.

У гірничий виробці його закріплюють до шахтного кріплення з боку підвішуванням вентиляційної труби.

Перенесення генератора здійснюється після кожного циклу підривання, якщо глибина заходки перевищує 2 м, і через один цикл, якщо вона менше за 2 м. Пуск генератора в роботу здійснюється відкриванням запірних вентилів на водопроводі і магістралі стислого повітря.

13.3.3. Область застосування. Запобіжне середовище треба обов'язково застосовувати при підривних роботах:

ВР класу IV вибоях виробок, проведених по пластах, небезпечних через вибухи пилу і раптові викиди вугілля і газу, незалежно від газовиділення чи проведених по пластах, не небезпечних щодо вибухи пилу, але за наявності метановиділення;

ВР класу V у вибоях тупикових виробок із двома відкритими поверхнями; незапобіжними ВР класу II під час розкриття пластів, небезпечних щодо раптових викидів вугілля і газу, по викидонебезпечних піщаниках.

Під час розкриття порід, небезпечних щодо раптових викидів, і при проведенні виробок по таких породах з використанням ВВ класу II повинні застосовуватися водорозпилювальні завіси в сполученні з водоповітряними.

Аерозольним завісам варто віддавати перевагу при проведенні вентиляційних штреків, нарізних виробок і виробок по завалах.

Генератори ГПВ можуть застосовуватися при підривних роботах у підготовчих виробках з площею перерізу до 25 м^2 , в яких є стиснене повітря з тиском не менш $0,3 \text{ МПа}$ і водопровід з тиском води не менш $0,5 \text{ МПа}$.

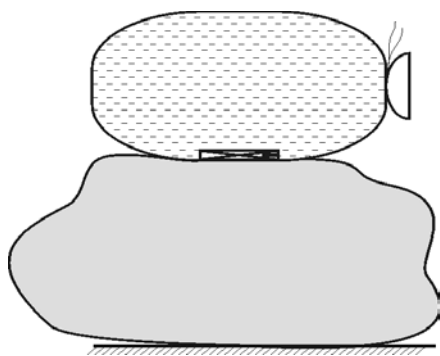


Рис. 13.7. Схема дроблення негабариту пристроєм, призначеним для створення запобіжного середовища

Запобіжні завіси треба сполучати з застосуванням гідронабійки і зрошення привибійного простору.

Крім того, поліетиленові посудини з водою і розпилювальним зарядом ВР чи пакети з порошковим інгібітором і зарядом ВР можна застосовувати як накладні заряди для дроблення негабаритів (рис. 13.7). Це дозволить застосовувати як накладні заряди в шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, ВР класів V і VI замість ВР класу VII, допущеної для цієї мети Єдиними правилами безпеки. При спрацьовуванні розпилювальних зарядів забезпечується ефективне дроблення практично без розкиду зруйнованих

грудок породи.

Глава 14

Вибухові технології при відкритих гірничих роботах

На відкритих гірничих роботах застосовують усі відомі методи підривних робіт, а саме: метод камерних, свердловинних, шпурових і зовнішніх зарядів.

14.1. Розрахунок зарядів і проведення підривних робіт методом камерних зарядів

При цьому методі розрізняють заряди викиду, скиду і розпушування.

14.1.1 Розрахунок зарядів викиду і скидання та ведення підривних робіт. Заряди викиду застосовують при будівництві каналів, канав, траншей, а заряди скиду – при будівництві гребель у гірській місцевості, застосовуючи зосереджені заряди. При будівництві каналів заряди розташовують в один чи кілька рядів уздовж осі майбутньої виробки, а потім підривають їх.

Розраховуючи заряди, припускають, що маса, кг, зарядів пропорційна обсягу породи, що підривається цим зарядом

$$Q = q_n k V, \quad (14.1)$$

де q_n – питома витрата ВР при нормальних зарядах викиду, що залежить від міцності породи і від працездатності ВР, кг/м³;

k – коефіцієнт, що враховує впливи показника дії вибуху;

V – об'єм породи, що підривається, м³.

У гірничій справі при розрахунках допускається похибка до 5%, тому у формулі (6.5) для визначення об'єму вирви вибуху можна прийняти $\pi/3=1$. Тоді формула (14.1) прийме вигляд

$$Q = q_n k r^2 W. \quad (14.2)$$

Підставивши в цю формулу значення r з (6.4), одержимо

$$Q = q_n k n^2 W^3.$$

Добуток n^2 являє собою деяку функцію від показника дії вибуху, тобто $kn^2 = f(n)$,

тоді

$$Q = q_n W^3 f(n). \quad (14.3)$$

При розрахунку зарядів викиду з показником дії вибуху n від 0,8 до 3 і ЛНО до 25 м значення $f(n)$ визначають за емпіричною формулою М.М. Борескова

$$f(n) = 0,4 + 0,6n^3. \quad (14.4)$$

З урахуванням (14.4) формула (14.3) для згаданих умов підривання буде мати вигляд

$$f(n) = q_n W^3 (0,4 + 0,6n^3). \quad (14.5)$$

При будівництві каналів завглибшки 25...40 м

$$Q = q_n W^3 (0,4 + 0,6n^3) \sqrt{W/25}. \quad (14.6)$$

Питому витрату q_n в обох випадках приймають за табл. 14.1. Значення q_n наведені для ВР із працездатністю 300 см³, перерахування на інший тип ВР роблять за формулою (14.11).

Таблиця 14.1. Питомі витрати для зарядів викидання і розпушування

Коефіцієнт міцності f	Категорія порід (шкала Союзпідри- виробництва)	Питома витрата ВР q , кг/м ³ , для зарядів	
		нормального викиду	розпушування
0,3	I	0,71	--
0,5	II	0,79	--
0,5	III	0,83	--
0,6	IV	0,87	--
0,8...1	V	0,87	0,29
4,5...2	VI	0,87	0,29
3...4	VII	1,12	0,37
5...6	VIII	1,12	0,37
5...6	IX	1,25	0,42
5...6	X	1,25	0,42
8...10	XI	1,50	0,50
8...10	XII	1,62	0,54
12...14	XIII	1,75	0,58
12...14	XIV	2,00	0,67
16...20	XV	2,12	0,71
16...20	XVI	2,25	0,75

При розрахунку показника n за формулою (6.4) значення r беруть не менше половини ширини траншеї (каналу й ін.), що падає на один ряд зарядів. Заряди викиду розташовують на такій відстані один від одного, щоб при спільній дії вони утворили виїмку з порівняно рівною підшоною. Відстань між зарядами

$$a = 0,5W(n+1). \quad (14.7)$$

Для досягнення спрямованого викиду породи заряди розташовують у два-три ряди уздовж осі траншеї, ряди підривають послідовно з інтервалом уповільнення від 0,5 до 6 залежно від ЛНО і від властивостей середовища.

Першим підривають ряд, розташований у неробочого борта, на який потрібно викинути породу (рис. 14.1). Маса зарядів наступних рядів збільшується в міру віддалення від

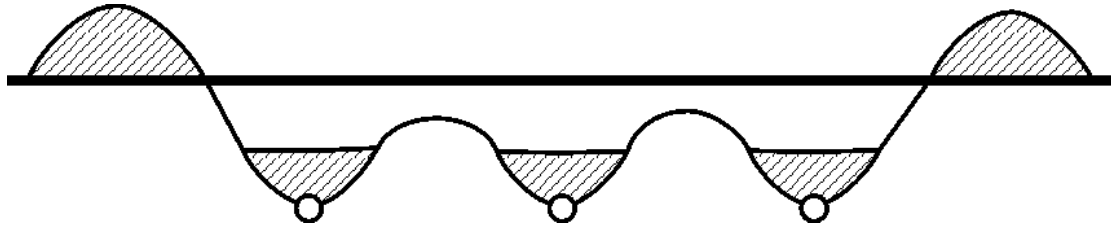


Рис. 14.1. Форма виїмки під час підривання зближених зарядів викиду

відкритої поверхні. При розрахунку таких зарядів беруть для зарядів першого ряду $n = 1 \dots 1,5$, для наступних $n = 1,5 \dots 2,5$. У результаті вибуху зарядів першого ряду ЛНО зарядів другого ряду буде менше манша за проектну, тобто $W_2' < W_2$ (рис. 14.2), тому порода буде викинута ліворуч і зі значно більшою силою. До моменту, коли порода, викинута зарядами першого ряду, ще не встигне опуститися вниз, вона буде відкинута вибухом зарядів другого ряду (див. рис. 14.2).

Величина ЛНО, м, в ґрунтах:

$$W = (0,3 \dots 0,6) H_{\text{в}}, \quad (14.8)$$

а для скельних порід:

$$W = (0,7 \dots 1,0) H_{\text{в}}, \quad (14.9)$$

де $H_{\text{в}}$ – задана глибина виймання, м.

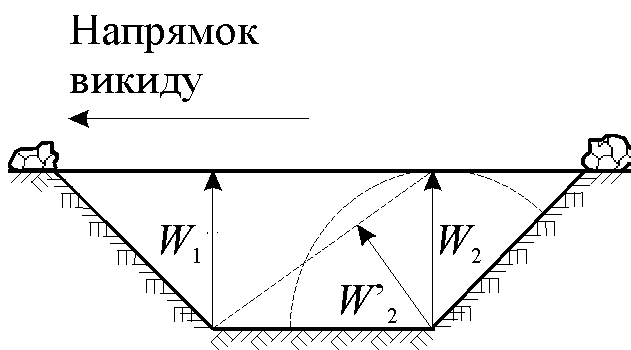


Рис. 14.2. Схема виймання при спрямованій дії зарядів викиду

При спрямованому підриванні в щільних ґрунтах і в породах середньої міцності нерідко застосовують метод похилих свердловинних зарядів (рис 14.3), що забезпечує більше відкидання зруйнованої породи. Заряди перших двох рядів свердловин, що утворюють вруб, підривають з уповільненням 50...100 мс, наступний ряд – з уповільненням 250...400, а далі – з інтервалом 150...250 мс ряд за рядом.

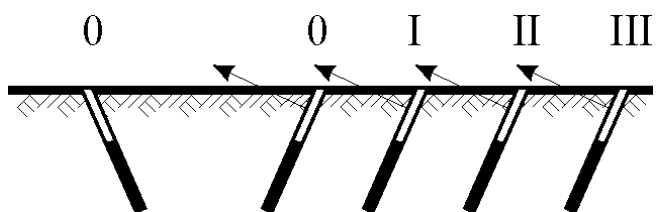


Рис. 14.3. Схема розташування свердловин із зарядами для спрямованого викиду:

0...III – послідовність підривання зарядів

Спрямоване підривання зарядів

викиду нерідко застосовують для перекриття ущелин, для створення гребель у гірських місцевостях. У цьому випадку заряди, що називаються *зарядами скиду*, розташовують у глибині схилу гори так, щоб ЛНО була спрямована під кутом $35...45^\circ$ до горизонту убік напрямку скидання. Заряди скиду – це

заряди, зосереджені з показником дії вибуху $1,25...1,75$. При спорудженні великих гребель групу зарядів розташовують і підривають так, щоб порода лягала купчасто в заданому напрямку. Іноді заряди бувають великої маси. Так, при створенні протиселевої греблі на р. Мала Алмаатинка в Медео було підривано п'ять зарядів загальною масою 5293 т, розташованих у два ряди на правому схилі, і десять зарядів масою 3946 т, розташованих на лівому схилі. Уповільнення між вибухами зарядів першого і другого рядів становило 3...4 с. Маса одночасно підірваних зарядів була 3600 т. Вибухами було покладено в греблю 2,4 млн.м³ породи. Висота греблі 84 м, ширина 500 м біля фундаменту і 100 м по гребені.

Для розміщення зарядів викиду бурять свердловини, проходять шурфи чи шурфи з камерами. Перерізи шурфів прямокутної форми 1х1 м (1х1,2) м. Якщо заряди невеликі, ВР можна розташовувати на дні сухих шурфів. Якщо великі, а також при наявності ґрунтових

вод для розміщення заряду із шурфу проводять камери (рис. 14.4, а). У випадку наявності ґрунтових вод підлогу камери роблять з невеликим нахилом у бік шурфу для стікання води, а дно розташовують на 0,5...1 м нижче за підвал камери.

У разі невеликого об'єму зарядної камери її розташовують поряд з шурфом, а у разі великого – на деякій відстані від шурфу, з яким вона сполучається за допомогою хідника (рис. 14.4, б). Конфігурація камери повинна забезпечувати максимальну скупченість заряду.

При заповненні камери гранульованими чи порошкоподібними ВР мішки з ВР опускають у шурф у бадях (у випадку застосування зарядів великої маси для спуску ВР використовують механічні елеватори). При заряджанні ВР розсипом їх засипають у шурф через дерев'яну трубу перерізом

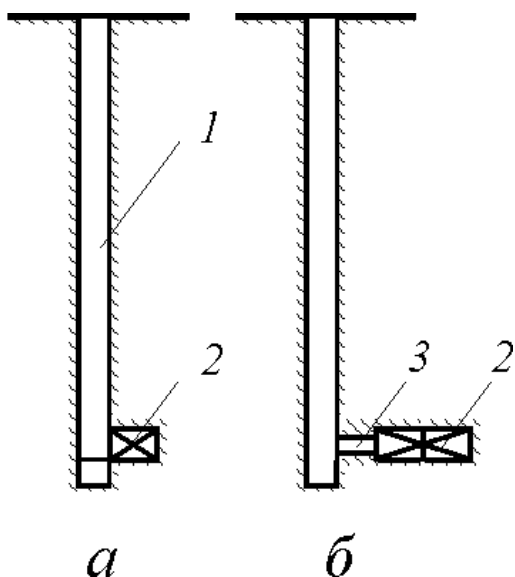


Рис. 14.4. Схеми розташування шурфів і зарядних камер:

1 – шурф; 2 – зарядна камера; 3 – хідник

200x200 мм. Якщо заряди великої маси, застосовують зарядні агрегати, розміщені на вантажних автомашинах, які подають ВР по гнучких шлангах у зарядні камери. Продуктивність таких агрегатів до 12 т ВР на годину.

Одночасно з заповненням зарядної камери вибуховою речовиною у заряд вміщують бойовики. При зарядах масою 1...2 т використовують два бойовики, які розташовують у центрі заряду, при зарядах великої маси і подовжених камерах складної форми (хрестоподібні, Т-подібні й ін.) кількість бойовиків збільшують, розташовуючи їх у різних місцях заряду. Бойовик повинен мати тверду оболонку. Проводи від електродетонаторів виводять з камери і з'єднують у паралельно-пучкову групу, до якої приєднують дві пари проводів, прокладених у шурфі. Для захисту патронів від ушкодження їх укладають у дерев'яний жолоб, закріплений у куті шурфу, ближче до камери. Перед доставкою в шурф електродетонаторів електропроводка і джерела струму повинні бути вилучені з камери і шурфу. Після закінчення заряджання камеру закривають дерев'яним щитом і в шурф вміщують матеріал набійки.

Електропідризна мережа чи лінія ДШ повинна бути подвійною (дубльованою), щоб уникнути відмовлень при ушкодженні однієї з ліній. Мінну станцію (місце підривання) установлюють за межами небезпечної зони з навітряного боку. При підриванні зарядів масою понад 100 т необхідно споряджати протигазами людей, що несуть охорону на межі небезпечної зони, щоб уникнути їхнього отруєння.

Огляд місця вибуху керівником підривних робіт дозволяється не раніше, ніж через 30 хв після вибуху. Заряди, що відказали, ліквідують відповідно до інструкції, затвердженої головним інженером підприємства.

14.1.2. Розрахунок зарядів розпушування. Найраціональніші умови для застосування зарядів розпушування – високий вибій (більше 20 м) і така текстура породи, що сприяє розколюванню на грудки, які не перевищують міцності ковша екскаватора. Однак така сприятлива текстура порід зустрічається рідко. Метод камерних зарядів застосовується на відкритих розробках у кар'єрах з уступами висотою більш 20 м. Для розміщення зарядів в уступах проводять штольні (рис. 14.5) з бічними галереями і зарядними камерами. Переріз штолень і галерей 1,2x1,5 чи 1,5x1,8 м. Розміри камер залежать від розміру зарядів і щільності заряджання.

Вибухом заряду порода в межах вирви розпушування дробиться і спучується; над вирвою розпушування порода розтріскується, струшується і під дією сили ваги осідає, оповзає і розділяється по площинах тріщин, що утворилися, на шматки. Ці шматки будуть мати більші розміри, чим міцніша порода і чим більше ЛНО і відстань між зарядами. Великі

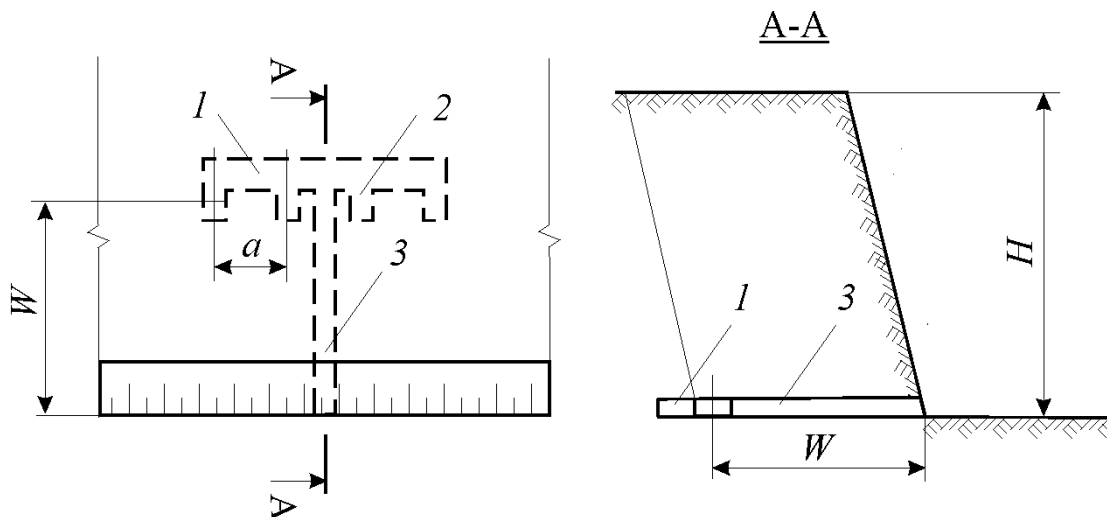


Рис. 14.5. Схема розташування зарядів при методі мінних штолень:

1 – бокові галереї; 2 – зарядні камери; 3 – штольня

шматки (негабарит) за допомогою шпурових і частково зовнішніх зарядів дроблять на більш дрібні, які можна вантажити екскаваторами.

Величину ЛНО беруть у межах $(0,5...0,8)H$, де H – висота уступу, м. Якщо шаруватість чи тріщинуватість порід відсутня, то рекомендується брати її середнє значення $W = 0,65H$. Якщо переважає горизонтальний напрямок пластів чи тріщин, то значення ЛНО варто брати ближче до верхньої межі ($W = 0,8H$), а якщо вертикальний напрямок, паралельний фронту уступу, тоді значення ЛНО повинне бути ближче до нижньої межі ($W = 0,5H$). При вертикальному напрямку пластів чи тріщин, перпендикулярному фронту уступу, варто брати середнє значення ($W = 0,65H$), як при монолітній породі.

Відстань між зарядами беруть $a = (0,7...1,0)W$. Якщо породи не мають чітко вираженої шаруватості чи тріщинуватості, то $a = 0,8W$. Таке ж значення a повинно бути в тому випадку, коли шаруватість чи тріщинуватість однакова за паралельним чи перпендикулярним фронту уступу напрямкам. Якщо напрямок пластів чи тріщин паралельний фронту уступу, то відстань між зарядами повинна дорівнювати ЛНО чи наближеною до нього, а якщо напрямок пластів чи тріщин, перпендикулярний до фронту уступу, $a = 0,65...0,70W$. Зі збільшенням параметра a знижується рівномірність дроблення породи і збільшуються розміри максимальних шматків. Поблизу заряду порода дробиться більше, а чим далі від нього, тим менше.

Зі збільшенням висоти уступу значення ЛНО беруть ближче до нижньої межі ($W = 0,5H$). У практиці підривних робіт були випадки застосування мінних штолень в уступах висотою 60...90 м. Величину ЛНО у разі підривання в таких уступах брали не більш 30 м, тобто $W = (0,33...0,5)H$.

При уступах більш 30 м іноді для рівномірнішого дроблення породи заряди розташовують у два ряди. Наприклад, при висоті уступу 40 м перший ряд зарядних камер розташовують на відстані 10...12 м від площини уступу, а другий – 10...12 м від першого, тобто 20...24 м від площини уступу, рахуючи по лінії підосви уступу. Однак частіше застосовують однорядне розташування камер.

При зазначених відстанях $W=(0,5...0,8)H$ і $a = (0,7...1)W$ заряди можна розраховувати за так званою об'ємною формулою

$$Q = q_n WaH = qV, \quad (14.10)$$

де q_n – питома витрата ВР для зарядів розпушування за методом мінних штолень, установлена за даними практики чи за нормативними даними, кг/м³ (див. табл. 14.1);

V – об'єм породи, що підривається одним зарядом, м³.

Результат цього розрахунку варто вважати орієнтовним, що підлягає уточненню.

14.1.3. Проведення підривних робіт при методі камерних зарядів. Одночасно по фронту уступу підривають кілька камер з однієї штольні проводять дві – чотири. Перед проведенням штольні уступ оббивають від навісів і грудок породи, що неміцно утримуються, а перед устям штольні встановлюють запобіжне кріплення – галерею довжиною майже 5 м для охорони робітників.

Шпури бурять електросвердлами чи ручними пневматичними молотками. Напрямок виробок задає маркшейдер і в процесі проведення перевіряє.

Вибух камерних зарядів утворює широку врубову щілину, а масив породи, що лежить вище, розколюється, струшується і, опускаючись, подрібнюється на грудки. Розвал породи становить не більш $2...2,5H$.

Витрата ВР на основний вибух мала, але внаслідок великої грудкуватості на вторинне підривання (дроблення великих шматків) вона досягає витрати на основний вибух.

14.2. Розрахунок зарядів і ведення підривних робіт методом свердловинних зарядів

Метод свердловинних зарядів застосовують при розпушуванні гірських порід.

14.2.1 Загальні відомості. У великих механізованих кар'єрах застосовують метод *свердловинних зарядів*, при якому порода дробиться рівномірніше і дрібніше, ніж при методі мінних штолень. Метод свердловин застосовують у вибоях висотою понад 7 м; найдоцільніше використовувати його у вибоях висотою 10...20 м і більш залежно від типу екскаватора.

Суть методу полягає в наступному (рис. 14.6). В уступі, що підлягає підриванню,

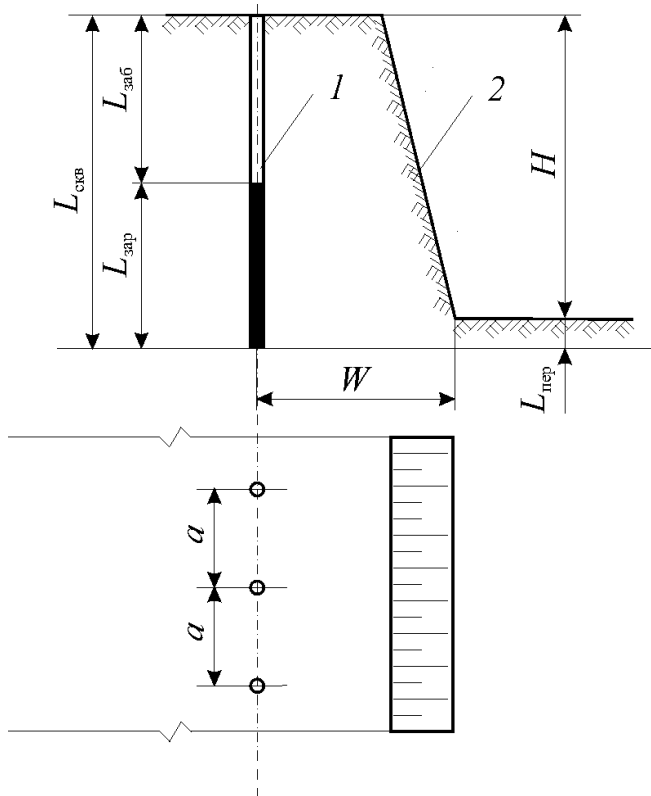


Рис. 14.6. Схема розташування свердловин в уступі при однорядному підриванні

1 – свердловина; 2 – уступ

бурять свердловини для розміщення зарядів. Свердловини можуть бути горизонтальні, похилі і вертикальні, діаметр свердловин від 75 до 370 мм. Чим міцніша порода і вищий уступ, тим застосовують більший діаметр свердловини: у слабких породах – діаметром 100...150, у міцних (вапняк, граніт, залізні руди) – 200 мм і більше. Однак чим більший діаметр свердловини за інших рівних умов, тим крупніші грудки відбитої породи.

Для буріння свердловин у породах з коефіцієнтом міцності $f \leq 5$ застосовують верстати обертального буріння; у міцніших – шарошечного, вогневого і канатно-ударного буріння. При канатно-ударному і вогневому бурінні фактичний діаметр свердловини виходить на 5...20%

більшим за номінальний (через розробки стінок свердловини долотом чи полум'ям реактивного пальника).

Свердловини розташовують в один чи кілька рядів (до 10) паралельно фронту вибою. Заряджають їх порошкоподібною чи гранульованою ВР. Одночасно підривають кілька десятків свердловинних зарядів по фронту довжиною 100...800 м, щоб забезпечити безперебійну роботу екскаваторів протягом тривалого часу. У разі підривання свердловинними зарядами унаслідок меншого значення W і a , ніж у разі підривання камерних зарядів, виходить більш рівномірне дроблення породи і менший вихід негабариту. Завдяки цьому метод широко застосовують у великих механізованих кар'єрах. Вихід негабариту (при екскаваторах з ковшем місткістю 3 м³) звичайно не перевищує 5...10% об'єму вибухової маси, а при сприятливій текстурі – 0,2...3%.

Для якісного дроблення породи на рівні підосви вибою і попередження утворення порогів (виступів незруйнованої чи напівзруйнованої породи, що не піддається збиранню екскаватором) свердловини бурять нижче підосви вибою.

Частину свердловини, що знаходиться нижче підосви вибою, називають *перебуrom*. Його довжина залежить від міцності породи і приймається в межах $(0,2...0,4)W_p$, де W_p –

розрахункова лінія опору, тобто відстань від осі свердловини до відкритої поверхні на рівні підосви вибою (див. рис. 14.6). Якщо на рівні підосви залягає пласт слабкішої породи, що легко руйнується, перебур можна не робити. Перебур не допускається в тому випадку, коли у підосві вибою залягає пуста порода, що збіднює видобувну корисну копалину.

14.2.2. Розрахунок зарядів розпушування. Рекомендується такий порядок розрахунку зарядів свердловин. Вибравши діаметр свердловини, тип ВР і спосіб підривання, установлюють за табл. 14.2 питому витрату ВР q_t (значення q_t наведені для ВР із працездатністю 300 см³).

Таблиця 14.2. Нормативні питомі витрати ВР

Метод підривних робіт	Висота уступу, м	Значення q_t , кг/м ³ , при різній категорії міцності порід за шкалою Союзпідриввиробу						
		IV...VI	VII...VIII	IX...X	XI	XII	XIII	XIV...XV
Шпуровий	1	0,29	0,33	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54
--/--	1,5	0,25	0,29	0,33	0,38	0,42	0,46	0,50
--/--	2...6	0,21	0,25	0,29	0,33	0,38	0,42	0,46
Свердловинний	7...20	0,21	0,25	0,29	0,33	0,38	0,42	0,46

Якщо для проведення підривних робіт прийнята ВР з іншою працездатністю, тоді для одержання питомої витрати, кг/м³, ВР варто робити перерахунок за виразом

$$q = q_t P_{ет} / P_{ВР}, \quad (14.11)$$

де $q_{ет}$ – питома витрата ВР, кг/м³, прийнята за табл. 14.2;

$P_{ет}$ – працездатність еталонної ВР, що дорівнює 300 см³;

$P_{ВР}$ – працездатність ВР, см³, прийнятої для ведення вибухових робіт.

Визначають масу, кг, заряду однієї свердловини за виразом

$$Q = qaW_p H, \quad (14.12)$$

де q – питома витрата ВР для зарядів розпушування, кг/м³;

V – обсяг породи, що підривається зарядом однієї свердловини, м³;

a – відстань між свердловинами, м;

W_p – розрахункова лінія найменшого опору, м;

H – висота уступу, м.

Виведемо формули для визначення a і W_p .

Виходячи з рис. 14.6, площа, m^2 , поверхні уступу, що припадає на одну свердловину

$$S = aW_p. \quad (14.13)$$

Відношення відстані між свердловинами a до лінії найменшого опору W_p називають *коефіцієнтом зближення зарядів* і позначають буквою m , тобто

$$m = a / W_p. \quad (14.14)$$

Площа, m^2 , поверхні уступу, що приходить на одну свердловину можна підрахувати також за виразом

$$S = k\gamma / q, \quad (14.15)$$

де k – коефіцієнт, значення якого залежить від висоти уступу (при висоті уступу до 10 м дорівнює 0,6, понад 10 м – 0,7);

γ – маса, кг, 1 м заряду свердловини,

$$\Gamma = \frac{\pi d_{\text{св}}^2}{4} \Delta_{\text{вр}}, \quad (14.16)$$

де $d_{\text{св}}$ – діаметр заряду свердловини, м;

$\Delta_{\text{вр}}$ – густина ВР, кг/м^3 .

Зрівняємо праві частини виразів (14.13) і (14.15), тоді

$$aW_p = k\gamma / q. \quad (14.17)$$

Підставивши значення a у вираз (14.16), одержимо

$$mW_p^2 = k\gamma / q,$$

відкіля ЛНО

$$W_p = \sqrt{\frac{k\gamma}{qm}}. \quad (14.18)$$

Визначивши із формули (14.14) параметр W_p і підставивши його у (14.17), отримаємо

$$a^2 / m = k\gamma / q.$$

Із цього виразу отримаємо формулу для розрахунку відстані між свердловинами

$$a = \sqrt{k\gamma m / q}. \quad (14.19)$$

У табл. 14.3 наведені співвідношення між параметрами свердловин W_p , a і S при миттєвому підриванні зарядів, (значення a виражені через W_p , значення W_p – через площу, що припадає на одну свердловину, що знаходиться на рівні підшви вибою), а також наведені значення коефіцієнтів зближення зарядів залежно від текстури гірських порід.

Таблиця 14.3. Значення параметрів свердловин і коефіцієнтів зближення зарядів

Текстура породи	W_p	a	m
Монолітна, шарувата чи тріщинувата з горизонтальним напрямком; напрямок шаруватості чи тріщинуватості неясно виражений	$1,1\sqrt{S}$	$0,8W_p$	0,8
Вертикальна шаруватість чи тріщинуватість, паралельна фронту вибою	$\leq \sqrt{S}$	$\geq W_p$	≥ 1
Вертикальна шаруватість чи тріщинуватість, перпендикулярна до фронту вибою	$\geq 1,3\sqrt{S}$	$\approx 0,6W_p$	$\approx 0,6$

Порядок подальшого розрахунку приймається наступний

Визначають:

Масу, кг, заряду однієї свердловини

$$Q = qaW_pH, \quad (14.20)$$

перебур, м

$$l_{\text{пер}} = (0,2 \dots 0,4)W_p, \quad (14.21)$$

глибину, м, свердловини

$$L_{\text{св}} = H + l_{\text{пер}}, \quad (14.22)$$

довжину, м заряду свердловини

$$l_{\text{зар}} = Q/\gamma, \quad (14.23)$$

довжину, м набійки

$$l_{\text{заб}} = L_{\text{св}} - l_{\text{пер}}, \quad (14.24)$$

Довжина набійки повинна бути у межах $l_{\text{заб}} = (0,8 \dots 1,2)W_p$, м.

Якщо обчислена за формулою (14.22) довжина забойки виявиться менше $0,8W_p$, тоді треба зменшити значення W_p чи a , щоб зменшився об'єм породи, що підривається, і заряд свердловини, інакше підривання верхньої частини заряду свердловини буде викликати велике розлітання породи. Зменшити довжину заряду можна іншим способом – прострілюванням у нижній частині свердловини котел, завдяки цьому місткість свердловини збільшиться і рівень заряду ВР знизиться.

Якщо довжина набійки буде понад $1,2W_p$, варто збільшити довжину заряду, тому що інакше уступ буде погано роздроблений. Збільшити довжину заряду в свердловині можна двома способами: взяти більше значення W_p чи a , у зв'язку з чим збільшиться об'єм породи, що підривається, і заряду, чи застосувати розсосереджений заряд, тобто розділити його на дві-чотири частини, передбачивши між окремими частинами інертні (повітряні) проміжки завдовжки від 1 до 2 м.

Роботами академіка М.В. Мельникова і професора Л.М. Марченка доведена значна перевага повітряних проміжків перед проміжками з твердих інертних матеріалів (пісок, здрібнена порода і тощо). При повітряних проміжках енергія ВР не витрачається на подрібнення твердих матеріалів проміжку, а передається пружному повітряному прошарку і використовується для дроблення породи в проміжку між окремими частинами заряду. У зв'язку з цим поліпшується дроблення породи по усьому вибою.

Інститут гірничої справи (ІГС) ім. О.О. Скочинського рекомендує при висоті уступу до 20 м розосереджувати заряд на дві – три частини. Маса нижньої частини повинна становити 60...70% маси всього заряду (60% – при більш міцних породах, 70% – при менш міцних). Інша кількість ВР розміщується у його верхніх частинах над повітряними проміжками. Довжина повітряних проміжків повинна становити 17...35% загальної довжини заряду (нижня межа належить до міцніших порід). При цьому довжину набійки беруть на 20...30% менше за рекомендовану, тобто набійка повинна складати $0,5...0,7W_p$. Скорочення довжини набійки не небезпечне (у відношенні розкидання породи) у вигляді невеликої верхньої частини заряду. Довжина окремого повітряного проміжку повинна бути не менше 1 м.

14.2.3. Схеми ініціювання свердловинних зарядів ВР. Розосереджені заряди ініціюють відрізками детонувального шнура, що пропускають через усю свердловину. Для надійності підривання прокладають два відрізки. Їх ініціюють електродетонатором, прикріпленим до них угорі над устям свердловини чи до магістральної лінії, протягнутої уздовж свердловин.

Довжину повітряного проміжку фіксують дерев'яною рейкою з поперечною планкою на нижньому кінці і фланцевому диску (чи дерев'яною хрестовиною, обмотаною цупким папером) на верхньому. Поперечна планка спирається на нижню частину заряду, а диск служить опорою для верхньої частини. При різночасному підриванні свердловинних зарядів доцільно розташовувати свердловини у кілька рядів.

У випадку багаторядного підривання свердловинних зарядів з уповільненням рівним $t_{\text{упов}} \geq 0,5$ с відстань між рядами свердловин W_p беруть такою, що дорівнює розрахунковому W_p для першого ряду свердловин. Відстань між свердловинами у ряді беруть $a = 0,8W_p$, якщо весь ряд свердловинних зарядів підривають з одним уповільненням. Якщо заряди сусідніх свердловин одного ряду підривають з різними уповільненнями, тоді $a = W_p$, співвідношення треба уточнювати відповідно до текстури породи (див. табл. 14.3).

При короткоуповільненому ($t_{\text{упов}} < 100$ мс) багаторядному підриванні відстань між зарядами у порівнянні з розрахунковою величиною W_p для першого ряду свердловин зменшують на 20...40% і беруть її такою, що дорівнює відстані між свердловинами в ряді. Щоб

уникнути виникнення глибоких заколів в масиві уступу за останнім рядом свердловин і небезпечного для будинків сейсмічного ефекту свердловинні заряди підривають короткими рядами навскіс до фронту уступу. Таке підривання, крім того, поліпшує дроблення породи.

Вибираючи схему підривання рядів, треба враховувати текстуру породи, напрямки її шарів і тріщин.

Звичайно свердловинні заряди підривають детонувальним шнуром, рідше – електродетонаторами. Перший спосіб значно дорожчий (у 5...20 раз) за другий, але має ряд переваг при масових вибухах великої кількості свердловин: простіший – монтаж вибухової мережі і більша її надійність, а також безпека у випадку відказу заряду. Для більшої надійності вибухову мережу дублюють: кінці подвійної лінії ДШ опускають до дна свердловини, потім засипають ВР. Детонація буде поширюватися по радіальних напрямках від детонувального шнура. Якщо ВР недостатньо чутлива (гранульовані ВР) і від ДШ не вибухає, то на дно свердловини поміщують *проміжний детонатор* – насипають шар ВР завтовшки 0,2...0,6 м (5...20 кг), що добре детонує від ДШ (наприклад, порошкоподібний тротил, амоніт 63В).

При зворотному ініціюванні зарядів свердловин (від дна до устя) чи при короткоуповільненому підриванні окремих частин зосередженого заряду свердловин як засоби ініціювання (ЗІ) варто застосовувати електродетонатори, якщо кількість свердловин менша ніж 100. При великій кількості свердловин монтаж електропідривної мережі з розосередженими зарядами в свердловинах, та їх заряджання дуже ускладнюється. У цьому випадку краще підривання детонувальним шнуром. Щоб нитка ДШ, призначена для ініціювання нижньої частини, не викликала вибуху верхньої частини заряду, що підривається з уповільненням 20...30 мс, на ДШ надягають поліетиленовий шланг, що послабляє детонаційний імпульс (рис. 14.7). При зворотному ініціюванні дія заряду в перебуді поліпшується і порода в підшві краще дробиться. Крім того, можна на 25...30% зменшити глибину перебуду. Ще більш покращується дроблення породи, якщо окремі частини заряду підривати з уповільненням 10...20 мс. Однак через складність монтажу вибухової мережі цей спосіб широкого застосування не отримав.

У породах міцних і монолітних вибій уступу має майже вертикальне положення: нижня частина його висотою (0,50...0,75)H вертикальна і тільки верхня через заколи з укосом. Кут укосу уступу при монолітних і міцних породах $\alpha \approx 80^\circ$; для порід неміцних, а також міцних, але тріщинуватих $\alpha \approx 60^\circ$. Для підривання таких уступів доцільно бурити похилі свердловини паралельні лінії відкосу (рис. 14.8, а). Параметри розташування похилих свердловин і зарядів розраховують за вищевикладеною методикою з внесенням деяких поправок: ЛНО береться від нижньої брівки за напрямком, перпендикулярним свердловині (вона менше опору по підшві (о.п.п.) $W_n = W_p / \sin \alpha$).

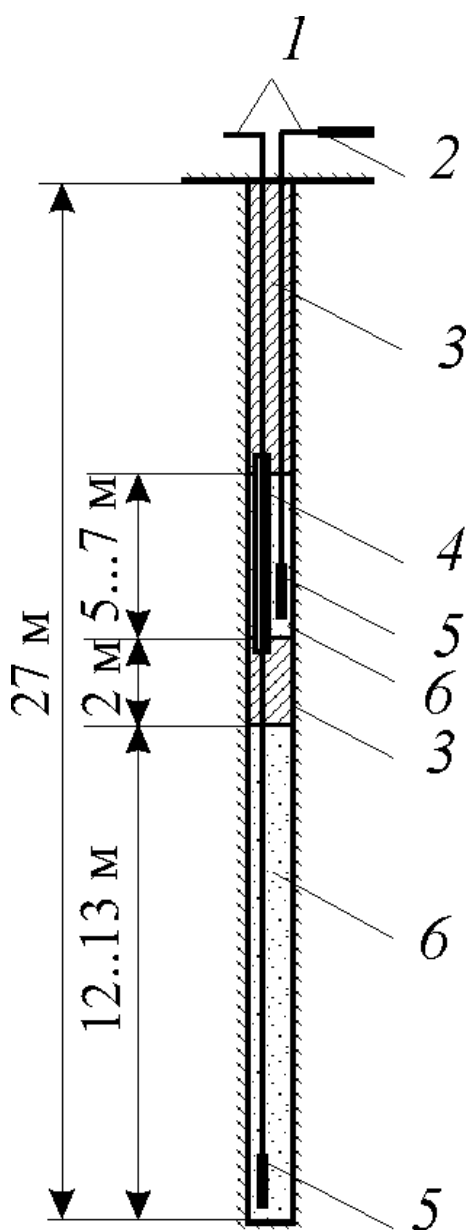


Рис. 14.7. Схема розташування розсосередженого заряду і бойовика у свердловині при зворотному ініціюванні і різночасному підриванні частин заряду (розміри у м):

1 – ДШ; 2 – КУДШ; 3 – набійка; 4 – поліетиленовий шланг; 5 – бойовики; 6 – ВР

Об'єм підриваної породи

$$V = aW_p H / \sin \alpha. \quad (14.25)$$

Якщо в уступах з малим кутом укосу застосовують вертикальні свердловини (рис. 14.8, б), то значення о.п.п. визначають за формулою

$$W_{\text{п}} = b + H \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \quad (14.26)$$

де b – відстань від верхньої брівки уступу до свердловини, що для безпечних бурових робіт дорівнює 3 м.

Величина о.п.п. у цьому випадку виходить досить велика і дроблення породи значно погіршується. Щоб зберегти нормальний коефіцієнт зближення ($m = 0,8$) варто закладати в свердловину відповідно більший заряд. У таких випадках для розміщення в свердловині заряду на рівні підшви прострілюванням утворюють котел. Прострілювальний заряд залежить від міцності породи і об'єму котла. Його беруть завдовжки не більш 2 м. Якщо однократне прострілювання не створює потрібного об'єму котла, то роблять два-три послідовних прострілювання (подвоюючи чи потроюючи масу кожного наступного заряду). Прострілювальний заряд підривають електродетонатором чи детонувальним шнуром. Над зарядом розміщують набійку з дрібного щебеню завдовжки 2...4 м. Після прострілювання свердловину очищають від розпушеної породи желонкою бурового верстата чи легкою ручною желонкою.

Так, застосування похилих ($\alpha = 75^\circ$) свердловин на кар'єрах Кривбасу в уступах заввишки 12...16 м і у породах $f = 9...19$ дозволило зменшити вихід негабариту в 3...5 раз і підвищити рівномірність дроблення порід, знизити на 10...15% питому витрату ВР і витрату буріння. Свердловини бурили шарошковими верстатами СБШ-250МП. Їх продуктивність при бурінні похилих і вертикальних свердловин була практично однаковою і складала 9...11 м/год у породах $f = 12...14$ і 8...9 м/год у породах $f = 14...16$.

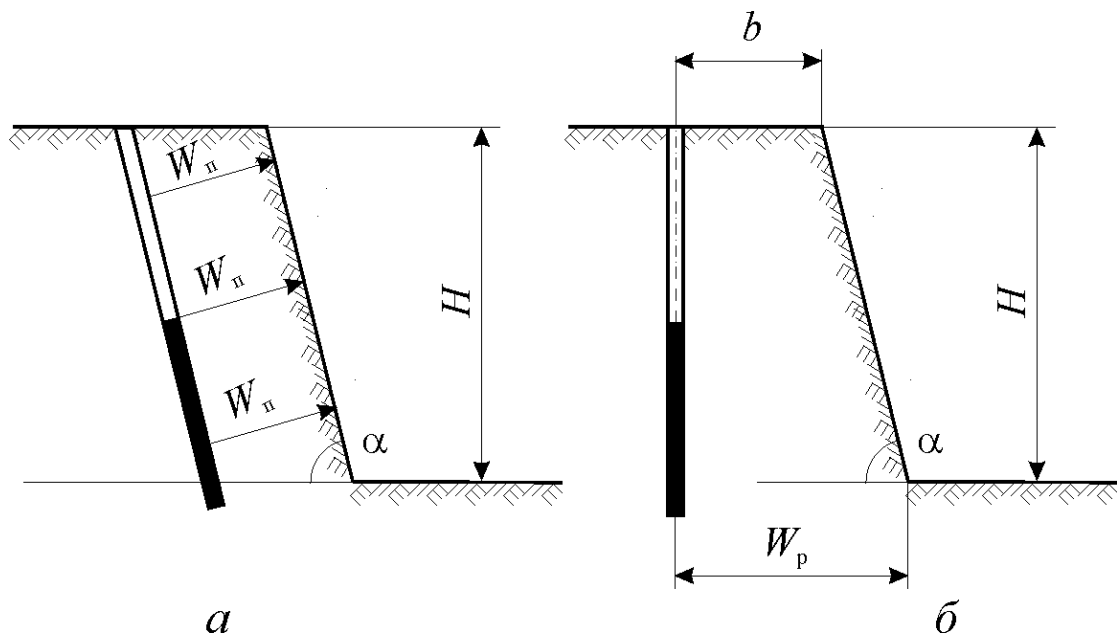


Рис. 14.8. Розташування свердловин в уступі з малим кутом відкосу:

а і б – уступи з похилими і вертикальними свердловинами

На Сарбайському кар'єрі ССГОКа під час буріння похилих свердловин вихід негабариту знизився у 1,5...2,5 рази, а продуктивність екскаватора зросла на 8...12%. Питома витрата ВР залишилася. Сума витрат на бурові роботи також знизилася.

Основні переваги методу:

висока продуктивність праці вибійного робітника (у порівнянні з шпуровим методом продуктивність праці збільшується в три і більше разів);

можливість ширшого застосування комплексної механізації праці;

підвищення безпеки робіт і покращення умов праці.

Недоліки: підвищення виходу великих фракцій і менша точність контурів відбійки у порівнянні з шпуровим методом; можливість обрушень за контурами свердловини, особливо, якщо її діаметр свердловини більший за 100 мм.

14.3. Проведення підривних робіт шпуровим методом і накладними зарядами

Метод шпурових зарядів має два різновиди: підривання звичайних шпурових зарядів і підривання котлових у шпурах, що застосовуються в тих випадках, коли неможливо застосувати метод свердловинних зарядів.

Найчастіше шпурові заряди застосовують при незначній висоті уступів (до 3...5 м), при селективній розробці родовища, коли потужність окремих

пластів незначна. ЛНО беруть залежно від висоти уступу і міцності порід $0,4...0,8H$ (менше значення належить до високих уступів і міцних порід). Наприклад, у міцних породах при висоті уступу $1...3$ м ЛНО беруть від $0,7$ до 1 м, а у слабких породах – від $0,9$ до $1,5$ м. Відстань між шпурами дорівнює $1...1,4W$, перебуд шпурів – $0,1...0,3$ м.

У разі підривання породи шпуровими зарядами порода дробиться дрібніше і рівномірніше завдяки частішому розташуванню зарядів. Розмір грудок не перевищує 450 мм. Витрата ВР і вартість робіт на 1 м^3 при методі шпурових зарядів вища, ніж при методі свердловинних зарядів. При котлових шпурах вона середня за ефективністю.

Для розрахунку шпурових зарядів можна користуватися тими ж формулами, що для розрахунку зарядів свердловин. Питому витрату ВР, кг/м^3 , визначають за нормативами Союзпідприємств (див. табл. 14.2), а також обчислюють за формулою (14.11). Шпури заповнюють ВР звичайно на $2/3$ довжини, іншу частину – набійкою.

Шпурові заряди, крім того, застосовують для дроблення грудок негабариту – результату підривання свердловинними і мінними зарядами. Розміри габаритних грудок залежать від розмірів ковша екскаватора і прийомного отвору дробарки (якщо підірвану породу пропускають через них), максимальний розмір визначаються за формулою (14.27) чи (14.28). Грудки, що мають великий розмір, належать до негабариту. При поточному методі робіт до них відносять грудки з розміром понад 400 мм. У грудках бурять один чи кілька шпурів, залежно від розмірів. Глибина шпуру не перевищує $2/3$ товщини негабариту. Шпур заряджають на $0,3...0,5$ його довжини. Іншу частину заповнюють матеріалом набійки. Витрата ВР на 1 м^3 породи при підриванні шпурів у негабариті приблизно в 5 разів менша, ніж у разі підривання їх у масиві породи. Шпурові заряди підривають як вогневим, так і електричним способами.

Для дроблення негабариту найчастіше застосовують *зовнішні заряди*. При такому способі витрата ВР у $5...8$ разів більша, ніж при шпуровому, але відпадає потреба у бурінні шпурів. Зовнішній заряд розміщують на брилу з того боку, де товщина її менша. Поверх заряду насипають шар (не менше висоти заряду) матеріалу набійки. Зовнішні заряди можна підривати вогневим і електричним способами. У разі вогневого підривання послідовність повинна бути така, щоб ті заряди, які вибухнули, не могли розкидати заряди, що вибухають пізніше.

Для зниження витрати ВР і дальності розлітання уламків породи при дробленні негабариту доцільно застосовувати гідропідрильний спосіб. У шпур діаметром $36...43$ мм, пробурений на $2/3$ товщини негабариту, вміщують патрони ВР масою $20...30$ і діаметром $22...25$ мм у гумовій оболонці з вмонтованим електродетонатором чи капсулем-детонатором

запалювальної трубки, заряд підвішують приблизно у центрі. Потім цей шпур заповнюють водою на 80...90% його глибини і підривають заряд. Удар газів вибуху передається породі водою і негабарит розламується на грудки, які практично не розлітаються. Витрата ВР при цьому зменшується в 3 рази і розліт породи – у 3...4 рази. При невеликому розмірі негабариту заряд ВР замінюють складеним у 2...3 рази відрізком ДШ. При дробленні негабариту зовнішніми зарядами їх доцільно вміщати в поліетиленові мішки з водою.

Котлові заряди застосовують в уступах висотою 4...10 м. ЛНО беруть $0,8H$, відстань між котловими зарядами $1...1,1W$, перебур – $0,1W$. Але за дією ці заряди відносять до камуфлетних.

Котлові заряди розраховують таким же методом, як і заряди мінних штолень, оскільки в обох випадках вони зосереджені на рівні підосви. У цьому випадку може бути застосована формула (14.10), тоді значення q_n береться за нормативами Союзпідривної промисловості (див. табл. 14.2).

В уступах висотою 6 м при породах Х...ХVІ категорій міцності для утворення котла, здатного вмістити основний заряд, роблять два-три простріли. Після кожного шпура продувають стисненим повітрям, щоб очистити його від здрібноної породи. Наступне заряджання здійснюють не раніше, ніж через 15 хв після вибуху, щоб стінки котла встигли охлонути. У разі розміщення основного заряду в шпурі вибуховою речовиною заповнюють не тільки котел, але і циліндричну частину шпуру на $2/3$ його довжини. Іноді утворюють невеликий котел ще і посередині шпуру, щоб краще роздрібнити породу верхньої половини уступу. Котлові заряди підривають електродетонатором чи детонувальним шнуром. Метод котлових зарядів широкого застосування не отримав.

14.4. Ступінь дроблення гірських порід вибухом, способи його визначення і регулювання

Неоднорідність розміру грудок породи – серйозний недолік, який властивий підривним роботам. Тому велике значення має гранулометричний склад підірваної породи – кількісне співвідношення вмісту грудок (часток) різних розмірів у відбитій масі. Виходячи з цього, підривні роботи необхідно вести так, щоб у результаті первинного підривання гірський масив був рівномірно роздроблений на транспортабельні грудки, а вихід негабаритних блоків зведений до мінімуму, тобто ступінь дроблення породи відповідала параметрам навантажувальних і транспортних гірничих машин.

Допустимі розміри грудок підірваної гірської маси визначають за робочими параметрами навантажувального, транспортного і дробильного устаткування, а саме

Місткість ковша екскаватора, E , м^3

$$d \leq 0,8\sqrt[3]{E}, \quad (14.27)$$

де d – максимальний розмір шматка гірської породи, м;

E – ємність ковша екскаватора, м^3 ;

Розмірів, м, прийомного отвору дробильної установки чи перевантажувального бункера

$$d \leq 0,8b, \quad (14.28)$$

де b – менша сторона прийомного отвору дробильної установки чи перевантажувального бункера, м.

Відсоток виходу негабаритної фракції має особливий інтерес для гірничих підприємств, тому що від виходу негабаритної фракції залежать продуктивність і тривалість терміну служби навантажувального і транспортного устаткування і надійність роботи його, витрати часу на вторинне дроблення, що порушують ритмічність роботи підприємства, витрати, пов'язані з додатковою витратою ВР і засобів ініціювання.

Так, збільшення виходу негабариту з 2,5 до 5% викликає зниження продуктивності екскаватора на 20...30%. При 20% виходу негабариту його продуктивність знижується в 2...2,5 рази.

14.4.1. Способи визначення виходу негабариту. На підприємствах застосовують прямі і непрямі методи визначення виходу негабаритної фракції породи:

а) поштучний облік (обмірювання) негабариту, що підлягає вторинному підриванню;

б) планіметричний метод вимірювання – вихід негабариту визначається як відношення сумарної площі негабаритних грудок у плані до загальної площі, на якій проводяться виміри. Доцільно замість трудомістких вимірювань на розвалі породи фотографувати його, а потім робити аналіз фотографій, виконаних у визначеному масштабі. Цей метод називають *фотопланіметричним*.

в) кількісний метод – підраховується кількість негабаритних грудок n , що знаходяться на аналізованій площі S . Кількість негабаритних шматків на 1 м^3 гірської маси підраховують за формулою

$$N = (n / S)^{3/2}. \quad (14.29)$$

Вихід негабариту

$$V_{\text{н}} = NV_{\text{ср}}, \quad (14.30)$$

де $V_{\text{ср}}$ – середній об'єм підірваної гірської маси, м^3 .

з) лінійний метод, коли по розвалі підірваної породи на різних інтервалах через 8...10 м натягаються стрічки і заміряється довжина крупних грудок, що потрапили на стрічки. Вихід, %, негабариту визначається як відношення сумарної довжини крупних негабаритних грудок $\sum l_n$ до загальної довжини лінії $\sum L$

$$V_n = \sum (l_n / L) \quad (14.31)$$

д) ситовий аналіз – гірська маса просівається через сита зі зменшуваними розмірами чарунок, у результаті встановлюється її гранулометричний склад.

Розрізняють підривання первинне, при якому виконують підривні роботи з метою руйнування гірського масиву, і вторинне – з метою дроблення негабаритних блоків. Тому у виробничих умовах вихід негабариту оцінюють також за витратою детонаторів і ВР на вторинне дроблення (непрямий метод).

Для дослідницьких робіт застосовуються: поштучне обмірювання; методи кількісний і фотопланіметричний; у лабораторних дослідках – ситовий аналіз.

14.4.2 Регулювання ступеня дроблення гірських порід вибухом. Для одержання гірської маси зі шматками породи заданого розміра на практиці застосовується ряд способів, які ґрунтуються на регулюванні ступеня впливу вибуху на масив гірських порід за рахунок зміни щільності заряджання, способу ініціювання зарядів, короткоуповільненого підривання, схеми руйнування гірського масиву і т.д.

Один із способів регулювання якості дроблення гірської маси – це застосування розосереджених зарядів з повітряними проміжками довжиною 0,8...1W – основний спосіб підвищення корисної роботи вибуху. Його автори академік М.В. Мельников і проф. Л.М. Марченко вперше створили теорію руйнування гірських порід цим способом і розробили конструкції заряду для практичної реалізації. Крім того, застосовуються способи: збільшення питомої витрати ВР (ефективне до визначеної величини), розосередження зарядів з короткоуповільненим підриванням (ініціюванням) окремих його частин (ярусів), зворотне ініціювання суцільних свердловинних зарядів, зміна сітки розташування свердловин, підривання парно зближених свердловин, застосування комбінації зарядів різної довжини і діаметра, попереднє змикання тріщин випереджальним підриванням свердловинних зарядів по контуру блока, що підривається (руйнується), підривання в затисненому середовищі (на підпірну стінку).

Розділ III

Організація проведення підривних робіт

Вибухонебезпечність ВМ потребує дотримання особливих запобіжних заходів під час їхнього транспортування, обліку і зберігання, щоб запобігти розкраданню, втраті і псуванню, виключити їхні випадкові вибухи, захистити навколишні споруди і механізми від можливих пошкоджень при вибуху ВР, сприяти зручному і безпечному виконанню операцій з прийому і видачі ВМ.

Треба пам'ятати, що при вмілому й обережному використанні промислові ВР безпечні, а при недбалому можуть стати причиною серйозних нещасливих випадків, не говорячи вже про значні руйнування, котрі можуть заподіяти великий матеріальний збиток. Тому особи, що працюють з ВМ, повинні твердо засвоїти:

- поблизу ВМ не можна курити, розводити вогонь ближче ніж за 100 м від місця знаходження ВМ;
- при розвантаженнях і вивантаженнях ящики з ВМ треба переносити дуже обережно на руках;
- забороняється розкривати ящики із ВМ ударами сокири, лому і т.п., тому що цим можна викликати вибух.

При розкритті ящиків цвяхи слід вийняти обценьками, застосовуючи для полегшення роботи дерев'яні клини. Для забивання ящиків дозволяється користуватися мідними молотками, а якщо шурупи мідні і оцинковані – сталевими викрутками.

За ступенем небезпеки при зберіганні і перевезенні вибухові матеріали підрозділяють на п'ять груп.

перша – належать нітрогліцеринові вибухові речовини, що містять понад 15% нітроефірів, а також нефлегматизовані гексоген і тетрил;

друга – нітрогліцеринові ВР, що містять менше 15% нітроефірів, флегматизовані гексоген, тетрил, а також детонувальний шнур, аміачну селітру, аміачно-селітрени ВР, тротил і його сплави з іншими нітросполуками;

третья – групи належать порох димний і бездимний;

четверта – капсулі-детонатори, електродетонатори і піротехнічні уповільнювачі (детонаційне реле);

п'ята – снаряди (заряди) із встановленими в них зривниками (детонаторами).

Вибухові матеріали різних груп слід зберігати і транспортувати окремо.

Вогнепровідний шнур і засоби його запалювання дозволяється зберігати і перевозити разом із ВМ другої, третьої і четвертої груп.

Допускається сумісне зберігання детонувального шнура (друга група) разом з капсулями-детонаторами, електродетонаторами і піротехнічними уповільнювачами (четверта група).

Результатом порушення цих вимог може служити аварія, що відбулася на залізничній станції Арзамас (Горьківська область) 4 червня 1988 р у 9 ч 30 хв. У вантажному потязі, що складався з 10 вагонів вибухових речовин, вибухнули 3 вагони. Загинуло понад 100 чоловік, більш 200 госпіталізовані; вибухом зруйнований житловий масив; без даху залишилися 700 чоловік. На місці вибуху утворилася вирва глибиною 26 і діаметром 52 м.

Розслідування причин аварії показало наступне. Вантаж був зазначений як ВР більш низької групи небезпеки в порівнянні з фактичною. Крім того, в одному вагоні транспортувалися ВР із цих груп небезпеки, наприклад, у першому вагоні, який вибухнув, знаходилося 35 т тротилових шашок ТЛ-400 і 93 ящики виробів ЕПКС-80, що містять у своєму складі нефлегматизований гексоген. Аварії сприяло і недбале транспортування: в одному з вагонів було виявлено, що розсипалася ВР. До вибуху за таких умов могла привести будь-яка випадковість.

Глава 15

Зберігання вибухових матеріалів

Для зберігання вибухових матеріалів (ВМ) будують спеціальні склади за типовими чи індивідуальними проектами. *Склад ВМ* – це комплекс сховищ із підсобними спорудами, розташованими на загальній території, яка цілодобово охороняється.

15.1. Класифікація складів ВМ

За своєю будовою і розташуванням щодо поверхні землі склади ВМ бувають поверхневі – фундамент сховищ розташований на рівні поверхні землі; напівзаглиблені – сховища заглиблені в землю не більш, ніж по карниз будинку; заглиблені – товща ґрунту над сховищами становить менше 15 м; підземні – товща порід над сховищами не менше 15 м.

Залежно від терміну експлуатації склади розділяють на постійні (понад 3 роки), тимчасові – (до 3 років) і короточасні (до 1 року), рахуючи ці терміни з моменту завезення ВМ. Експлуатація короточасних складів може бути подовжена на один наступний термін за умови повторного прийняття комісією.

Склади ВМ за своїм призначенням й умовами експлуатації підрозділяють на базисні і видаткові.

15.2. Базисні склади ВМ

Базисні склади призначені для зберігання великих кількостей ВМ, що надходять із заводів-виготовлювачів, і постачання ними підприємств через їхні видаткові склади, причому тільки в заводській упаковці, тобто не розкупореними ящиками (мішками). За своєю будовою і розташуванням ці склади обладнуються поверхневими і напівзаглибленими. На території дозволяється розташовувати сховища ВР і ЗІ, майданчики для ВР і ЗІ в контейнерах, будівлі для видачі ВМ, будинки для підготовки ВМ, лабораторію, вартові вишки і будки для сторожових собак, сарай для протипожежних засобів, протипожежні водойми; прохідна будка і деякі інші будинки і споруди.

Загальна місткість базисних складів ВМ не обмежується, але звичайно не перевищує тримісячної потреби. Місткість окремого сховища не повинна перевищувати 420 т вибухових матеріалів.

Сховища варто розташовувати так, щоб забезпечувався вільний підхід і під'їзд до кожного. Дороги і під'їзні колії слід тримати в чистоті і справності. Склади повинні огорожуватися забором з колючого дроту (чи з дерева, цегли, каменю, металу) висотою не менше 2 м. По верхній частині огорожі з дерева, цегли, каменю, металу на металеві стрижні висотою не менше 0,5 м натягають колючий дріт у чотири нитки. Відстань від огорожі до найближчого сховища повинна бути не менше 40 м. За огороженням визначають заборонену зону на відстань від неї не менше 50 м. На межі забороненої зони встановлюються попереджувальні знаки. В огорожі улаштовують ворота і хвіртку, що закриваються на замки.

На території складу, забороненої зони і навкруги дерева і чагарники повинні бути вирубані, суха трава, зарості, хмиз і інші займисті предмети.

Для запобігання лісових і напольних пожеж дерен на відстані не менше 5 м навколо кожного будинку треба зняти; навколо території складу на відстані 10 м від огорожі необхідно обладнати каналу завширшки у верхній частині не менше 1,5 м і завглибшки не менше 0,5 м.

За забороненою зоною складу в межах небезпечної зони дозволяється розміщати: полігон для випробувань і знищення ВМ, спалювання тари; вартове приміщення; адміністративно-побутове приміщення для обслуговуючого персоналу; котельня; склади палива; водопровідні і каналізаційні насосні станції; трансформаторна підстанція та ін.

Сарай чи навіс для зберігання тари допускається розміщати в межах забороненої зони, не ближче 25 м від огорожі складу. Будинки і споруди варті слід розташовувати відповідно до вимог органів внутрішніх справ.

Склади повинні бути забезпечені достатньою кількістю протипожежного устаткування: вогнегасниками, бочками з водою, відрами, ящиками з піском, сокирами, баграми, лопатами, ломами.

Над територією складу допускається прокладка електропроводів напругою не більше 220 В. Передбачається два види освітлення постійних і тимчасових складів – робоче і резервне (аварійне); лампи напругою до 220 В; кабелі з оболонкою, яка не поширює горіння. Сховища обладнуються протигрозовим захистом.

У кожному складі повинна бути вивішена інструкція про порядок утримання протипожежних засобів і користування ними. Персонал складу варто знайомити з інструкцією під розпис.

Усі склади ВМ, у тому числі вартові приміщення, повинні обладнуватися телефонним зв'язком з підприємством, пожежною охороною й органами внутрішніх справ. Між вартовими постами і вартовим приміщенням повинен забезпечуватися двосторонній телефонний зв'язок; засоби зв'язку розміщують поза вибухопожаронебезпечними приміщеннями.

Щоб полегшити охорону, територія складу в нічний час не освітлюється, а підступи до неї повинні бути освітлені.

Склади розташовують на значних відстанях від населених пунктів, ліній електропередач та промислових об'єктів, щоб у випадку вибуху складу перераховані об'єкти не постраждали.

Сховища ВМ споруджують з незаймистих матеріалів. Дахи також роблять із незаймистих матеріалів чи покривають незаймистою речовиною зсередини ззовні.

Сховища необхідно обладнувати так, щоб температура повітря в них не могла підніматися вище 30°C. Підлоги в сховищах можуть бути дерев'яними, бетонними, асфальтованими чи глинобитними. У сховищах для чорного димного порошу підлоги повинні бути без щілин, рівні, покриті м'якими матами, а стіни побілені чи пофарбовані.

Вікна обладнують сталевими ґратами, з прутів діаметром не менше 15 мм, що підлягають зварюванню в кожному перехресті з утворенням чарунок розмірами 150x150 мм. Кінці прутків забивають у стіну на глибину не менше 80 мм. Решітки слід покривати світлою фарбою. Скло вікон на сонячному боці повинне бути матовим чи покрите білою фарбою.

Входи у сховища і на горища повинні замикатися на замки і пломбуватися чи опечатуватися.

Голівки залізних цвяхів і болтів, що застосовуються для зміцнення полиць у сховищах, необхідно утеплювати повністю. Сховища ВМ повинні провітрюватися і захищатися від проникнення води і снігу. У середині будинків повинні встановлюватися термометри.

Відстань між окремими сховищами складу приймається такою, щоб при вибуху в одному сховищі детонація не передалася ВМ сусіднього (розраховується за формулою (2.30)).

Для зменшення дії вибухової хвилі сховище оточують земляним валом., який повинен бути вище за карниз будинку на 1,5 м. Ширина валу зверху приймається не менше 1 м, а знизу визначається кутом природного укосу ґрунту. Відстань між підшвою валу і стіною будинку – від 1 до 3 м.

Розпаковувати заводську тару на базисних складах дозволяється тільки для взяття проб на випробування ВМ.

З метою визначення придатності для зберігання і застосування для підривних робіт усі ВМ на базисних складах повинні бути випробувані. Випробування здійснюють у випадку:

- надходження ВМ від виготовлювачів чи зі складів інших підприємств;
- виникнення сумнівів у доброякісності (за зовнішнім оглядом) чи незадовільних результатах підривних робіт (неповні вибухи, відкази);
- закінчення гарантійного терміну: наприклад 12 міс, для амоналу скельного №1, 9 – для вугленітів 13П, 13П/1 і 10П; 8 – для детоніту М й іоніту; 6 – для амонітів Т-19 і ПЗВ-20, а також вугленіту Е-6; 4 – для і амоніту АП- 53В.

Характер іспитів залежить від виду (типу) вибухових матеріалів. Так, нітрогліцеринові ВР піддаються зовнішньому огляду тари і відібраних патронів на визначення наявності ексудата і на здатність передачі детонації; аміачно-селітрени ВР – зовнішньому огляду тари і відібраних патронів; на здатність передачі детонації і на вміст води.

На вологість амоніт випробують так: беруть дві наважки по 50 г, поміщають у порцелянові чашки і сушать їх до постійної маси у сушильній шафі при температурі 65°C, потім охолоджують і знову зважують.

Вміст води, %, визначають за формулою:

$$P = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\%,$$

де C_1 і C_2 – маса наважки ВР, г, разом з порцеляною чашкою до і після просушування.

Капсулі-детонатори й електродетонатори піддаються зовнішньому огляду тари і відібраних виробів. При зовнішньому огляді КД стежать, щоб внутрішня поверхня гільз не мала слідів засмічення. На металевих гільзах обох типів детонаторів не повинно бути наскрізних раковин, тріщин і плям із слідами розкладу металу, а на паперових - відшарування паперу в дулька, що перешкоджають введенню вогнепровідного шнура, і сколів ВР у денця детонатора. Детонатори із зазначеними дефектами треба бракувати і знищувати.

Вогнепровідний шнур (ВШ) оглядають випробовують на швидкість, повноту і рівномірність горіння. Встановлюють: переломи і тріщини в оболонці, стоншення, стовщення, вузли, розмочалені місця, сліди підмочення й ін. Дефектні місця вирізують і знищують. Якщо дефектних кругів понад 1%, шнур бракують і знищують.

Для іспиту на швидкість і повноту горіння відбирають 2% від загальної кількості кругів і відрізають від кожного по 60 см. Ці відрізки підпалюють, перевіряючи за секундоміром тривалість горіння. Для нормально палаючого шнура вона становить 60...69 с. Іншу частину кожного круга підпалюють, перевіряючи на повноту і рівномірність горіння. Не повинно бути загасання, проскоків полум'я крізь оболонку і її займання. Водостійкі сорти шнурів

перед випробуванням вміщують на 1 год у воду на глибину 1 м, попередньо ізолювавши їх кінці вологостійкою мастикою.

Детонувальний шнур (ДШ) повинен піддаватися зовнішньому огляду тари і відібраних бухт і випробуванню на безвідмовне підривання. Для випробування відрізають від трьох бухт по п'ять відрізків завдовжки 1 м кожний, а решта (45 м кожної бухти) використовують як магістральну лінію. До неї приєднують відрізки, і три бухти з'єднують між собою в загальну лінію. Шнур, що дав більше одного відказу на магістралі чи хоча б по одному відказу в двох і більше типах з'єднань, бракується.

Якщо партія ДШ передбачається для сирих вибоїв чи застосуванні у воді, то шнур заздалегідь замочують на глибині 1 м протягом 1 г для сирих вибоїв і протягом 4 г для робіт у воді (кінці бухти зашпаровують водостійкою мастикою).

Якщо ДШ буде застосовуватися в умовах високих (до 60°C) чи низьких (нижче – 15°C) температур, то перед випробуванням його треба витримати у відповідних температурних умовах.

При випробуванні ВР і ЗІ варто строго дотримуватися вимог "Єдиних правил безпеки при підривних роботах" і інструкцій, що є доповненням до ЄПБ.

15.3. Видаткові склади ВМ

Видаткові склади призначені для зберігання порівняно невеликої кількості ВМ і видачі їх підривникам (майстрам-підривникам) для проведення підривних робіт. Вони можуть бути усіх видів – як за улаштуванням, так і за часом експлуатації. Різновиди: роздавальні камери, дільничні пункти зберігання ВМ, приміщення (підземні виробки) з сейфами чи ящиками, зарядні будки при проходці шахтних стволів, майданчики для зберігання. Видаткові склади ВМ можуть бути як стаціонарними, так і пересувними (на базі автомобіля чи трактора). Постійні видаткові склади влаштовують відповідно до тих же вимог, що і базисні.

Загальна місткість усіх сховищ складів: постійного не повинна перевищувати: для зберігання ВР – 240 т, для детонаторів – 300 тис. шт., для детонувального шнура – 400 тис. м; тимчасового не повинна перевищувати: для зберігання ВР – 120 т, для детонаторів – 150 тис. шт., для детонувального шнура – 200 тис. м, короточасного не повинна перевищувати: для зберігання ВР – за проектом, для детонаторів – 75 тис. шт., шнура, для детонувального шнура – 100 тис. м. Для вогнепровідного шнура і засобів його підпалювання ємність не обмежують розміри складів.

Гранична місткість кожного сховища постійних видаткових складів ВМ не повинна перевищувати 120 т, тимчасових – 60 т, короточасних – за проектом.

У постійних і тимчасових видаткових складах розкупорювати тару і видавати ВМ підривникам (майстрам-підривникам), а також приймати від них невитрачені ВР і ЗІ слід в окремих приміщеннях, у тамбурах сховищ або в будинку підготовки ВМ.

Підземні постійні видаткові склади ВМ, що влаштовуються у вугільних шахтах, можуть бути камерного й чарункового типів. На всіх сучасних шахтах, як правило, будують підземні склади ВМ чарункового типу.

У підземних умовах склад ВМ являє собою протяжну гірничу виробку у вигляді довгого коридора, у стінках якого розміщені сховища ВМ (камери або гарунки), допоміжні камери і підвідні виробки (рис. 15.1). До допоміжних відносять камери: для перевірки елект-

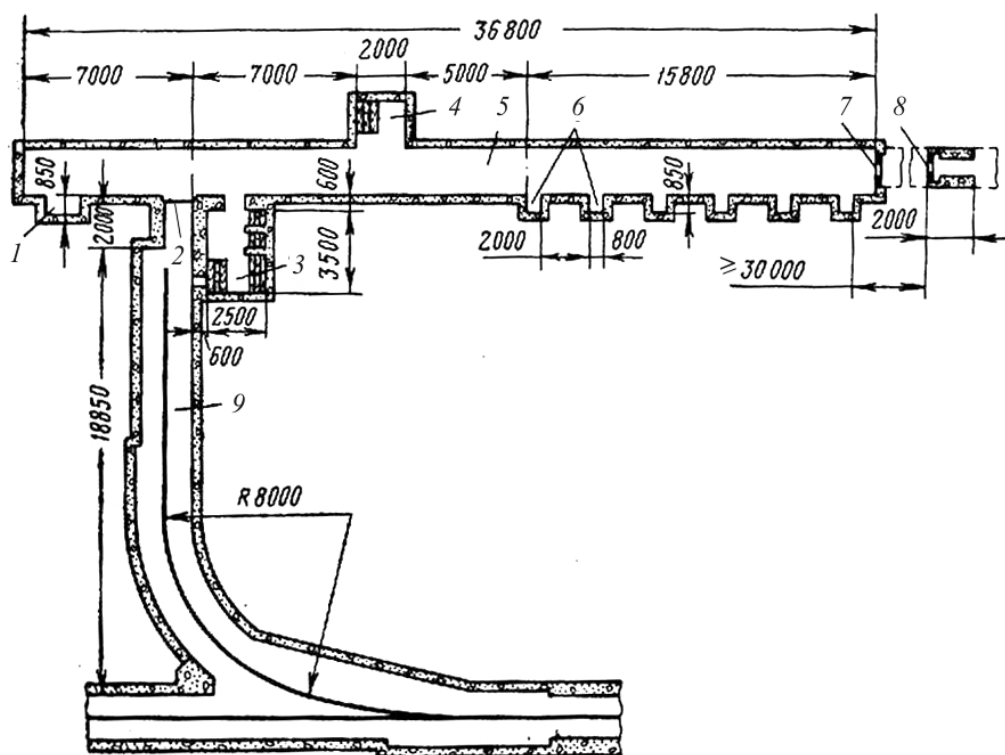


Рис. 15.1. Підземний склад ВМ чарункового типу:

1 і 6 – чарунки для зберігання ЗІ і ВР; 2 – захисні сталеві двері; 3 – камера для видачі ВМ; 4 – камера для перевірки електродетонаторів; 5 – склад; 7 і 8 – сталеві двері з вікнами для вихідного струменя повітря; 9 – підвідна виробка

родетонаторів, для видачі ВМ, для зберігання касет і сумок, для розміщення електророзподільних пристроїв і протипожежних засобів.

Виробки складу повинні бути закріплені неспалним кріпленням і побілені. Чарунки і камери розташовують так, щоб вибух ВМ в одній з них не міг викликати детонацію ВМ у сусідніх. ВР і ЗІ повинні міститися в різних чарунках (камерах).

Склади камерного типу розташовують не ближче за 100 м, а чарункового типу не ближче 60 м від стволів та інших важливих підземних виробок. Від виробок, передбачених для постійного пересування людей, їх віддаляють відповідно на 25 і 20 м. Відстань від складу до поверхні при складах камерного типу повинна бути не менше 30 м, при складах чарункового типу – не менше 15 м.

Склади треба провітрювати струменем повітря, кількість якого повітря повинна забезпечити його чотириразовий годинний обмін у всіх виробках. Вихідний повітряний струмінь забороняється направляти у виробки зі свіжим струменем повітря.

Гранична місткість підземного видаткового складу на вугільних шахтах не повинна перевищувати 70-добового запасу ВР і 15-добового запасу ЗІ. При цьому місткість кожної камери у складах камерного типу не повинна перевищувати 2 т ВР. У складах чарункового типу дозволяється в кожній чарунці зберігати не більш 400 кг ВР чи 15000 електродетонаторів.

Виробки, у яких розташовані чарунки (камери) для зберігання ВМ, не повинні безпосередньо сполучатися з головними виробками, а з'єднуватися з ними не менше, ніж двома підвідними прямолінійними чи криволінійними виробками, що утворюють один з одним прямі кути. Підвідні виробки повинні закінчуватися тупиками завдовжки не менше 2 м і площею перерізу не менше 4 м². Тупики призначені для гасіння ударної хвилі, що виходить з виробок ослабленою і вже не зможе зробити великих руйнувань.

Для освітлення складу застосовують електролампи у вибухобезпечній арматурі, для електропроводки – броньований кабель. Дозволяється користуватися рудниковими акумуляторними лампами.

Склад забезпечується первинними засобами пожежегасіння: (вогнегасниками, ящиками з піском, посудинами з водою). Дозволяється устаткування автоматичних засобів пожежегасіння. На початку підвідних виробок до камер чи чарунок складу, повинні бути улаштовані протипожежні двері.

У шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, склад повинен бути захищений сланцевими заслонами, що влаштовують у прилеглих до складу виробках. Останні повинні періодично осланцьовуватися.

Різновидом видаткових складів є роздавальні камери (у вугільних шахтах улаштовують на горизонтах) та дільничні пункти зберігання ВМ

В науково-дослідних інститутах, лабораторіях і учбових закладах допускається зберігати у сейфах не більше 10 кг ВР, 500 капсулів-детонаторів (електродетонаторів) і не більше ніж по 300 м детонувального і вогнепровідного шнурів. Вказані ВМ можуть розташовуватися в одному приміщенні, але в різних сейфах. Сейф, призначений для зберігання ЗІ,

повинен бути заземлений, футерований м'яким матеріалом і розташований не ближче за 2 м від сейфу з ВР.

Біля стволів шахт, устів, штолень і тунелів при їх проведенні дозволяється зберігати ВМ у розмірі змінної потреби у будках чи під навісами на відстані не ближче 50 м від ствола шахти чи устя штольні (тунелю), а також від споруд на поверхні.

Глава 16

Облік, видача і підготовка вибухових матеріалів до проведення підливних робіт

16.1. Персонал для підливних робіт

До персоналу належать особи, які виконують підливання та керують цими роботами, працівників складів ВМ, пунктів підготовки і виготовлення найпростіших гранульованих і водомістких ВР.

Персонал для керівництва підливними роботами (роботами з ВМ). Керівництво підливними роботами на підприємствах гірничого профілю покладається на керівника підприємства, при підрядному способі ведення робіт – на керівника підрядного підприємства чи призначеного ним керівника виробничого підрозділу цього підприємства; на підприємствах негірничого профілю – на особу технічного нагляду, призначеного керівником підприємства.

До керівництва підливними роботами допускаються особи, що закінчили гірничі інститути і технікуми, а також спеціальні курси, що дають право на технічне керівництво гірничими і підливними роботами. При цьому вони повинні здати іспит представникам органів Держнаглядохоронпраці України.

На посаду керівника дільниці підливних робіт можуть призначатися гірничі інженери з підземним стажем роботи не менше одного року і гірничих техніки з підземним стажем роботи у вугільних шахтах не менше трьох років (на рудниках - не менше двох років). Інженерно-технічні працівники, що здійснюють керівництво підливними роботами, не рідше одного разу в три роки проходять атестацію на знання правил безпеки з питань, що входять у їхні обов'язки.

Персонал для проведення підливних робіт. До виконання підливних робіт і робіт, пов'язаних з виготовленням і підготовкою ВР, зберіганням і перевезенням ВМ на підприємствах, допускаються тільки особи, призначені відповідними наказами.

Підливні роботи повинні виконуватися підливниками (майстрами-підливниками) чоловічої статі. У шахтах, небезпечних щодо газу чи пилу, виробництво підливних робіт дозволяється лише майстрам-підливникам.

До навчання за цією професією для вугільних шахт небезпечних щодо газу чи пилу допускаються особи, що мають середню освіту, не молодше 22 років і стаж на підземних

роботах не менше двох років. На всіх інших підричних роботах – не молодше 20 років і стаж роботи не менше одного року за фахом, що відповідає характеру роботи підприємства.

Навчання слід проводити з відривом від виробництва на спеціальних курсах при інститутах, технікумах гірничого профілю чи в учбово-курсівих комбінатах підприємств, що ведуть підричні роботи і мають відповідні дозволи (ліцензії) органів Держнаглядохоронпраці України.

Кваліфікація “підричник” (“майстер-підричник”) надається особам, що пройшли навчання за відповідною програмою, що здали іспит і отримали “Єдину книжку підричника” (ЄКП) чи “Єдину книжку майстра-підричника” (ЄКМП).

Іспити для присвоєння кваліфікації підричника (майстра-підричника) повинна приймати комісія під керівництвом представника органу Держнаглядохоронпраці України, призначена керівником підприємства.

До самостійного виконання підричних робіт підричник допускається тільки після роботи стажистом під керівництвом досвідченого підричника протягом місяця.

Дозволяється присвоювати кваліфікацію підричника і видавати ЄКП чи ЄКМП без навчання особам, що мають права керівництва відповідними підричними роботами, що здали іспити кваліфікаційній комісії. До самостійної роботи такі особи допускаються також після стажування в зазначеному вище порядку.

Не рідше одного разу в два роки знання підричників (майстрів-підричників) перевіряє кваліфікаційна комісія (заздалегідь вони повинні пройти підготовку за спеціальною програмою). Такі перевірки проводяться також у тих випадках, коли буде помічено, що підричник (майстер-підричник) порушив вимоги правил безпеки. Підричники (майстри-підричники), що не здали іспитів, позбавляються права на виконання підричних робіт і можуть бути допущені до повторної перевірки кваліфікаційною комісією тільки після перепідготовки, про що видається розпорядження зазначеного керівника підричними роботами.

Якщо підричників (майстрів-підричників) переводять на новий вид підричних робіт, вони повинні пройти перепідготовку за відповідною програмою, затвердженою керівником за узгодженням з органами Держнаглядохоронпраці України, здати іспити кваліфікаційні комісії і пройти 10-денне стажування.

Підричники (майстри-підричники) після перерви в роботі за своєю кваліфікацією понад один рік допускаються до самостійного виконання підричних робіт тільки після здачі іспиту кваліфікаційній комісії і 10-денного стажування. При переході підричників (майстрів-підричників) на шахти, небезпечні щодо газу чи пилу, вони повинні пройти додаткову підготовку за програмою, погодженою з Держнаглядохоронпраці України, здати іспит кваліфіка-

ційній комісії і пройти 15-денне стажування. При переході на шахти, надкатегорійні чи небезпечні за раптовими викидами, стажування повинне продовжуватися 20 днів.

На час заряджання шпурів і монтажу вибухової мережі підривнику (майстру-підривнику) виділяють помічників з числа найдосвідченіших робітників, що здали іспит кваліфікаційній комісії й одержали посвідчення на право участі в заряджанні шпурів під безпосереднім контролем майстра-підривника.

До здачі іспитів допускаються особи, що мають стаж на підземних роботах не менше одного року.

Допуск робітників з посвідченням до роботи повинен проводитися наказом по шахті. Число помічників приймається залежно від кількості шпурів чи від площі перерізу виробки в проходці: один – при кількості шпурів не більш 30 чи площі перерізу виробки до 10 м²; два – при кількості шпурів від 31 до 60 чи площі перерізу виробки 11...20 м²; три помічники – при кількості шпурів більш 60 чи площі перерізу виробки більше 20 м². Число помічників у вибоях вертикальних шахтних стовбурів повинне бути не більше трьох у вибоях, що містять до 60 шпурів; не більше шести у вибоях, що містять понад 60 шпурів.

Забороняється залучати майстрів-підривників і піднощиків, що мають при собі ВМ, до виконання сторонніх робіт. За умови зберігання ВМ на місцях робіт у спеціальних сейфах чи контейнерах, закритих на замок, допускається залучення піднощиків ВМ до виконання інших робіт.

Персонал для робіт, пов'язаних зі зберіганням ВМ. Завідувачими складами ВМ можуть бути особи, що мають право керувати підривними роботами, що закінчили вузи (технікуми) за фахом “технологія ВР”. На цю посаду також призначають осіб, з правом на проведення підривних робіт, що пройшли додаткову підготовку за типовою програмою підготовки завідувачів складами ВМ, що здали іспити кваліфікаційній комісії й одержали посвідчення про здачу іспитів.

Роздавальниками ВМ на складах дозволяється призначати осіб, з освітою не нижче 8 класів, що пройшли підготовку за типовою програмою для завідувачів складами ВМ, здали іспит кваліфікаційній комісії й одержали посвідчення. Вони допускаються до самостійної роботи після 10-денного стажування.

Лаборантами базисних складів ВМ можна призначати осіб, що пройшли підготовку за відповідною програмою, здали іспити кваліфікаційній комісії і отримали посвідчення.

В організаціях, що використовують вибухові матеріали в науково-дослідних, експериментальних і навчальних цілях, до роботи з ВМ можуть бути допущені наукові співробітники, викладачі і лаборанти, що мають ЄКП чи ЄКМП і пройшли 10-денне стажування під керівництвом досвідченого фахівця.

16.2. Облік і видача ВМ. Документація дільниці підричних робіт

На дільниці підричних робіт (ПР) чи буропідричних робіт (БПР) діє (з різним терміном зберігання) більше 30 найменувань технічної й обліково-контрольної документації. Документація, що веде кількісний облік ВМ, містить у собі чотири типові форми.

Книга обліку прибутку і видатку вибухових матеріалів (форма 1). Призначена для кількісного обліку ВМ на базисних і видаткових складах. Вона повинна бути пронумерована, прошнурована і скріплена печаткою чи пломбою безпосередньо контролюючої організації (Держнаглядохоронпраці України). Книгу ведуть завідувачі складів чи роздавальники.

Для кожного виду ВМ у книзі відкриваються окремі рахунки, причому для кожного рахунку залишається необхідна кількість аркушів з урахуванням кількості щоденних записів і періоду, на який вона розрахована. Залишок кожного виду ВМ підраховується на кінець доби.

Книга обліку видачі і повернення вибухових матеріалів (форма 2). Книга ведеться на видаткових складах. Вона також повинна бути пронумерована, прошнурована і скріплена печаткою чи пломбою безпосередньо контролюючої організації. Завідувач чи роздавальник складу записують видачу ВМ підричникам і повернення невикористаних ВМ.

Наприкінці доби підраховується, скільки і який вид ВМ витрачений за добу, і під рискою записується їх видаток (відпущені за винятком повернутих). Облік руху ВМ у дільничних пунктах зберігання повинен здійснюватися за формою 2у.

Наряд-накладна (форма 3). Призначена для видачі вибухових матеріалів з одного складу на інший, наприклад, з базисного на видатковий. Вона видається бухгалтерією працівнику підприємства з метою пред'явлення разом з дорученням на складі для одержання ВМ і потім є супровідним документом.

Завідувач складом (комірник, роздавальник), відпустивши ВМ, один екземпляр наряд-накладної зберігає, іншу видає одержувачу як супровідний документ, а два екземпляри з дорученням одержувача передає в бухгалтерію. Один з них залишається при бухгалтерській проводці для списання ВМ зі складу, а інший із звітом направляється одержувачу.

Показники наряд-накладної щодня записуються в книгу за формою 1 на базисному складі ВМ.

Наряд-путівка на проведення підричних робіт (форма 4). Призначена для відпуску ВМ підричникам (майстрам-підричникам). У ній зазначені місце підричних робіт, кількість шпурів і ВМ (за видами). Наряд-путівка підписується начальником дільниці, на якій повинні проводитися підричні роботи, або іншою посадовою особою відповідного рівня. На шахтах,

небезпечних щодо газу чи пилу, наряд-путівка підписується, крім того, головним інженером, начальником ВТБ і начальником дільниці ПР (БПР). При цьому, зокрема, забороняється одночасна видача майстром-підри́вником для проведення підри́вних робіт ВР різних класів, а також запобіжних і незапобіжних ЕД, у тому числі ЕДКУ і ЕДУД для різних вибоїв, якщо в одному з них застосовуються ЕД з великим чи уповільненням ВР більш низького класу.

Після закінчення робіт майстер-підри́вник і особа технічного нагляду, що безпосередньо керувала підри́вними роботами, підтверджують своїми підписами в наряд-путівці фактичну витрату ВМ за призначенням.

Майстер-підри́вник по закінченні зміни зобов'язаний особисто відвідуватися на складі ВМ про витрату ВМ і у випадку наявності залишків ВМ здати їх. Вибухові матеріали не повинні видаватися підри́вникам (майстрам-підри́вникам), що не відвідувалися у витраті раніше отриманих ВМ.

Наряд-путівка на складі ВМ є підставою для запису виданих ВМ у “Книгу обліку видачі і повернення ВМ”, а заповнена після закінчення роботи - підставою для списання ВМ у “Книзі обліку прибутку і видатку ВМ”.

У прибутково-видаткових документах і книгах обліку ВМ не допускаються записи олівцем, помарки і підчищення записів, а всякого роду виправлення робляться проставленням нових цифр. Кожне виправлення обумовлюється і підписується особою, яка внесла виправлення.

Перевірка правильності обліку, зберігання і наявності ВМ на складах повинна проводитися щомісяця особами, призначеними керівником підприємства і періодично - представником органу Держнаглядохоронпраці. У випадку виявлення під час перевірки нестачі чи надлишку ВМ відомості негайно повідомляється керівнику підприємства і слідчим органам для вживання заходів.

З іншої документації дільниці ПР варто виділити наступні найбільш важливі документи:

- паспорт складу ВМ;
- дозвіл на проведення підри́вних робіт;
- посвідчення на придбання ВМ;
- список осіб, що залучаються до роботи з ВМ;
- паспорти БПР шахти;
- книга інструктажу з безпеки робіт;
- журнал перевірки ЕД;
- журнал реєстрації відказів при підри́вних роботах;
- книга нарядів дільниці ВР;

- книга розпоряджень гірничо-технічної інспекції Держнаглядохоронпраці України;
- заходи щодо удосконалення вибухової справи.

16.3. Підготовка ВМ до підривних робіт. Маркірування ВМ

Під підготовкою ВМ до підривних робіт розуміється приведення ВР і ЗІ перед видачею майстру-підривнику в стан, придатний для їх застосування при підривних роботах.

Підготовка ВМ виконується на видаткових складах ВМ як безпосередньо у приміщеннях складів, так і в спеціально обладнаних для цієї мети будинках, зарядних майстернях, а також на відкритому повітрі. Кожен вид ВМ готується до роботи відповідно до вимог посібників чи інструкцій із застосування. Так, перед видачею аміачно-селітрени ВР, якщо вони зволожені понад припустиму норму і злежалися, повинні бути просушені і розпушені. Нітрогліцеринові ВР, якщо вони замерзлі, повинні повністю відтанути.

Усі ЕД перед видачею перевіряють на цілісність містка і на відповідність опору границям, зазначеним на етикетках пакувальної тари. Кінці детонаторних проводів повинні бути замкнені накоротко.

Для підвищення відповідальності підривників (майстрів-підривників) за отримані для ВМ проводиться їх маркірування. Воно дозволяє установити приналежність невикористаних і не зданих на склад ВМ. Таким чином, мета маркірування – посилення відповідальності і контролю за обліком, зберіганням і використанням їх за призначенням.

Електродетонатори і капсулі-детонатори підлягають маркіруванню на видатковому складі ВМ перед видачею майстрам-підривникам (підривникам). Маркування передуює перевірці електричного опору ЕД. Для цього передбачається нанесення на гільзи шести маркірувальних знаків (індексів), – наприклад, КВ 84 ВП, а саме:

- два цифрових, що позначають найменування міністерства (відомства);
- два буквених, що наносяться ліворуч від цифрових і позначають підприємство;
- два буквених, установлюваних праворуч від цифрових і позначаючих номер, привласнений майстру-підривнику (підривнику).

Маркірування ЕД рекомендується робити маркіраторами. Нанесення знаків виконується їх видавлюванням на зовнішній поверхні гільзи за допомогою маркірувальної голівки за нагрудним щитком з оргскла чи іншого матеріалу, що забезпечує задовільну видимість. Знаки видавлюються по периметру гільзи на 1...1,3 мм нижче нижнього зигзагу заводського обтиску рівномірно і чітко без порушення герметичності ЕД, що маркірується і цілісності гі-

льзи. На багатьох шахтах маркірують ЕД штемпельною фарбою за допомогою спеціальних штемпелів. Маркірувальні знаки слід наносити на КД до виготовлення запалювальної трубки.

Маркірування ЕД і КД повинне здійснюватися відповідно до інструкції, затвердженої Держнаглядохоронпраці України.

У випадку проведення підричних робіт групою підричників (майстрів-підричників) ЕД і КД маркірують номером старшого з них. Номер, привласнений підричнику (майстру-підричнику), при переводі його на іншу роботу чи звільненні, повинен бути зарезервований не менше ніж на три роки.

На заводах-виготовлювачах ВР маркіруються шляхом нанесення міток незмивної фарби на кожному патроні ВР, крім передбачених стандартних укомплектувань індивідуального заводського номеру.

Запис номерів патронів ВР, виданих підричникам (майстрам - підричникам), здійснюється у “Книзі обліку видачі і повернення вибухових матеріалів” (форма 2).

16.4. Знищення ВР і ЗІ

Вибухові матеріали, що прийшли в непридатність і не відповідають вимогам ДСТ і технічним умовам, підлягають знищенню. Непридатність установлюється при зовнішньому огляді як при надходженні на базисний склад ВМ чи видачі підричникам (майстрам-підричникам), так і в процесі зберігання, а також у випадку відказів і неповних детонацій в умовах експлуатації.

Знищення виконується за письмовим дозволом керівника підприємства, на що складається акт із вказівкою найменування і кількості знищуваних ВМ, принципу і способу знищення.

Знищення виконується підричниками під керівництвом завідувача складом ВМ чи особою технічного нагляду, призначеною керівником підприємства.

Знищення проводиться вибухом, спалюванням і розчиненням у воді.

Вибухом знищуються ВР, що не втратили здатність детонувати, за допомогою доброякісних ВМ. Патроновані ВР підлягають знищенню пачками, а детонатори, ДШ і піротехнічні уповільнювачі – у будь-якій упаковці, заритими в землю чи з використанням інших способів, що виключають розкид виробів, які не вибухнули. Майданчик для знищення ВР підриванням вибирають на безпечній відстані від населених пунктів і промислових об'єктів.

Спалюванням можуть знищуватися ВМ, що не піддаються підриванню (які втратили здатність стійко детонувати), за винятком КД, ЕД і виробів з ними, і лише тільки в суху

погоду. ВР, ВШ і ДШ необхідно спалювати окремо, причому на багатті дозволяється спалювати за один прийом не більш 10 кг. Патрони ВР при спалюванні розкладають в один шар так, щоб вони не стикалися. Забороняється спалювати ВМ у тарі. При знищенні розсипчастих ВР (наприклад, чорного димного пороху) їх розсипають доріжками шириною 30 см, товщиною 10 см, з відстанню між доріжками не менше 5 м. Одночасно дозволяється підпалювати не більш трьох доріжок. Підривники знаходяться в укритті до повного згоряння багаття з ВМ.

Через те, що спалювання ВР може закінчитися вибухом, обирають зручне місце далі від житлових будівель, шляхів сполучення (не менше 200 м). Влаштовують майданчик, ретельно очищений від каменів, сучків і дерну.

Для підпалювання багаття з ВМ слід з підвітреної сторони прокласти ВШ чи доріжку з легкозаймистого матеріалу (хмизу, тощо) довжиною не менше 5 м.

Багаття повинне бути настільки великим, щоб у нього не доводилося підкладати горючий матеріал під час спалювання ВМ. Забороняється огляд місця спалювання до повного припинення горіння багаття з ВМ.

Розчиненням у воді знищують тільки неводостійкі ВР на основі аміачної селітри і чорного димного пороху. Розчинення можна робити в бочках чи інших посудинах. На кожні 15 кг ВР, витягнутих з упаковок і звільнених від оболонок, потрібно налити 125...150 л води (краще гарячої), перемішати дерев'яними мішалками, дати постояти від 0,5 до 1 год, після чого спустити воду, потім налити води в бочку і повторити цю операцію 3...4 рази. Розчин зливають у ями, а осад збирають і знищують спалюванням.

Після закінчення знищення ВМ персонал, що виконував ці операції, у тому числі керівник робіт, зобов'язані переконатися в повному знищенні виробів із ВР.

Глава 17

Транспортування ВМ

Вибухові матеріали можна перевозити залізничним, морським, річковим, повітряним, автомобільним і гужовим транспортом і переносити ручною поклажею. Перевозять за встановленими і затвердженими МВС маршрутами при обов'язковому супроводі відповідальної особи (завідувача складом ВМ чи роздавальником) і збройною охороною.

17.1. Перевезення ВМ автомобільним транспортом

Для доставки ВМ на видаткові склади вугільних шахт в основному використовуються автомобілі. Він повинен бути справним, обладнаний глушниками, мати два пінні вогнегасники, ланцюги й інші пристосування для збільшення прохідності і відповідати вимогам "Правил перевезення ВМ автомобільним транспортом".

Водіїв, а також охорону інструктують про порядок перевезення, навантаження і вивантаження ВМ. На кожній одиночній машині, що перевозить ВМ, встановлюють червоні прапорці, а в ночі – відбивні знаки. При слідуванні колоною знаки повинні бути на передньому і задньому транспортних засобах.

Перед виїздом автомобіля завідувач гаражем зобов'язаний зробити в шляховому листі запис «автомобіль перевірений, цілком справний і придатний для перевезення вибухових вантажів». Завантаження автомобіля допускається до повної вантажопідйомності за винятком випадків перевезення ЕД і ВР, що містять рідкі нітроефіри; на автомобіль дозволяється не більш 2/3 його вантажопідйомності і не більше двох рядів ящиків у висоту.

Швидкість руху автотранспорту при гарній видимості не повинна перевищувати 40 км/год, при несприятливих погодних умовах – удвічі нижча. Під час руху повинні витримувати інтервали: під час руху по рівній дорозі (на горизонтальній ділянці) і під час зупинки – 50 м, під час спуску і підйому вгору – 300 м.

Забороняється перевозити на автомобілі з ВМ який-небудь інший вантаж, за винятком вибухових приладів, матеріалів і інструментів, необхідних для підривання, які укладені у міцно укріплені ящики.

17.2. Спуск ВМ у шахту

По стволу ВМ опускають безпосередньо в кліті (у бадді) чи у вагонетках. Ящики з ВР можуть займати не більш $2/3$ висоти кліті, але не вище висоти дверей кліті. При спуску ВР у вагонетках міцно закріплених в кліті ящики з ВР не повинні виступати вище їх бортів.

Засоби ініціювання варто опускати (піднімати) окремо від ВР, причому ящики з електродетонаторами укладають в кліті тільки в один ряд.

В одній кліті дозволяється одночасно опускатися кільком підривникам із сумками ВМ із розрахунку 1 м^2 підлоги кліті на одну людину на поверсі. Спуск і підйом підривників із ВМ по стволу шахти повинні здійснюватись позачергово.

Забороняється доставка ВМ по стволу шахти під час спуску і підйому людей. Під час навантаження, розвантаження, переміщення ВМ по стволу шахти у навколоствольному дворі і надшахтній будівлі допускається присутність підривника, роздавальника, робочих, що навантажують і розвантажують ВМ, стволового і особи надзору, що відповідає за доставку ВМ.

Швидкість руху кліті повинна бути не більш 5 м/с.

17.3. Доставка ВМ по гірничим виробкам

Перевозити ВМ по горизонтальних виробках можна за допомогою електровозного транспорту. Швидкість руху не повинна перевищувати 5 км/год.

Аміачно-селітерні ВР дозволяється перевозити в звичайних вагонетках і завантажувати їх до бортів. Електродетонатори слід перевозити в закритих вагонетках з дерев'яним кузовом чи у звичайних, футерованих зсередини деревом, повстю чи гумою. Ящики з цими ВМ перекладають м'яким матеріалом (повстю, мішковиною чи гумою) і укладають у висоту в один ряд.

Під час перевезення ВМ повинен обов'язково супроводжувати майстер-підривник чи роздавальник у спеціально обладнаній вагонетці наприкінці поїзду. ВР і ЗІ можна перевозити в одному порожняковому поїзді. При цьому відстань між вагонетками з ВР і ЗІ, а також між електровозом і вагонетками з ВР і ЗІ повинна бути не менше 3 м.

На передній частині електровозу і позаду поїзду з ВМ повинні бути спеціальні світлові розпізнавальні знаки, як правило ліхтарі, зі значенням яких повинні бути ознайомлені всі робітники в шахті.

17.4. Доставка ВМ до місця роботи

Доставка ВМ від видаткового складу до місця роботи дозволяється без охорони, але під обов'язковим наглядом майстра-підrivника з залученням стажистів-підrivників чи проінструктованих робітників (піднощиків).

ВМ повинні переноситися у заводському упакованні чи в сумках, які виключають можливість їх просипання (випадання). При цьому ЗІ повинні переноситися у окремій сумці (підсумці).

Майстер-підrivник може переносити одночасно не більше 12 кг ВР і не більш 150 електродетонаторів, але в окремих сумках (сумка і підсумок). При перенесенні ВР без ЗІ норма може бути збільшена до 24 кг, а ЗІ без ВР – до 500 електродетонаторів.

Піднощики можуть переносити до 20 кг вибухових речовин. Електродетонатори дозволяється переносити тільки майстрам-підrivникам.

Загальний порядок підричних робіт

18.1. Загальний порядок підричних робіт у підземних гірничих виробках

Перед заряджанням шпурів майстер-підричник повинен переконатися в готовності вибою і привибійному просторі до ефективного і безпечного проведення підричних робіт. Для цього майстер-підричник, прийшовши у виробку, повинен уважно оглянути стан кріплення і перевірити якість провітрювання. Якщо виробка закріплений не за паспортом чи провітрювання недостатнє, то заряджати шпури і підричати в них заряди не можна.

Шпури у вибої виробки бурять відповідно до паспорта буропідричних робіт. Перед заряджанням підричник перевіряє довжину і правильність розташування шпурів, відстань між ними. Якщо ці параметри не відповідають паспорту БВР, то підричник не повинен виконувати заряджання шпурів, повинен примусити прохідників внести відповідні корективи. Зокрема, якщо є шпури з більшою довжиною, то "зайву" частину треба заповнити забійним матеріалом.

Довжину шпурів вимірюють тільки круглим набійником, виготовленим з дерева, алюмінію чи іншого матеріалу, що не дає іскор при ударі і терті. Довжина набійника повинна бути більше довжини шпуру не менше ніж на 20...30 см. По довжині набійника є шкала через 10 см; його діаметр на 10 мм менший за діаметр шпуру. З одного торця на протязі 50 см діаметр набійника приймається таким, що дорівнює діаметру патронів ВР. Для заряджання і вимірювання глибоких шпурів і свердловин застосовують складені чи складні набійки.

Перед заряджанням шпури повинні бути очищені від бурового дріб'язку і бруду для того, щоб усунути можливість утворення пересипань між патронами. Заряджання шпурів без їхнього очищення забороняється. Очищення може здійснюватися такими способами: у разі наявності у вибої стисненого повітря за допомогою трубки-продувалки; у разі відсутності стисненого повітря – набійником з металевим лотком-чищалкою.

Забороняється заряджання шпурів, які не очищені від бурового дріб'язку, затиснених чи скривлених, тобто тих, у яких не виключається застрявання патронів при досиланні, а також шпурів, відстань між якими менша за мінімально припустиму (див.табл.10.1).

Майстер-підричник повинен перевірити наявність матеріалів, необхідних для формування закладених у паспорті БВР набійки шпурів і запобіжного середовища (глини, піску, води, інгібіторної набійки ПЗМ-3 і пакетів з інгібітором).

Тиск рідини при заповненні ампул водою повинен бути не більше 0,05 МПа. Тому майстер-підрильник повинен переконатися в наявності пристроїв для заповнення поліетиленових ампул водою (спеціального стаціонарного, переносного пристрою чи переносного бачка).

Механізми, апарати і кабелі перед заряджанням шпурів повинні бути прибрані з привибійного простору чи надійно захищені, щоб під час вибуху зарядів не пошкодити їх грудками породи, що розлітаються, і не викликати короткого замикання і горіння кабелю при ввімкненні струму, тому що від останнього може відбутися вибух метано- і пилоповітряної сумішей.

У привибійній ділянці виробки довжиною 20 м не повинні знаходитися матеріали і предмети, що загороджують більш ніж на третину її поперечний переріз. У іншому випадку буде ускладнене його нормальне провітрювання. Безпосередньо перед заряджанням шпурів (а також перед кожним підриванням зарядів і при огляді вибою після підривання) майстер-підрильник зобов'язаний виміряти вміст метану в куполах і виробки на відстані 20 м від вибою, а також у місці, звідкіля буде проводитися підривання (у місці укриття). Замірювання концентрації метану повинне проводитися по всій площі перерізу не ближче, ніж 10 см від вибою.

Крім того, майстер-підрильник зобов'язаний перевірити наявність зрошення чи осланцювання у виробках на відстані 20 м від вибою (на шахтах, що розробляють пласти, небезпечні щодо вибуху пилу). Якщо при замірі буде виявлена наявність 1% і більш метану і відсутність пиловибухозахисту, то заряджання і підривання зарядів забороняється до приведення привибійної ділянки виробки в стан, що допускає безпечне ведення підривних робіт.

Якщо вибій і привибійний простір відповідають усім встановленим вимогам, то майстер-підрильник приступає до заряджання шпурів.

18.1.1 Заряджання шпурів. Це процес уведення ВР у шпур і підготовка його до вибуху.

Заряджання шпурів може бути ручним і механізованим. При механізованому заряджанні застосовують зарядники, допущені до застосування Держнаглядохоронпраці України, при ручному – у шпур патрони ВР досилають набійником.

У підземних умовах при проведенні горизонтальних і похилих виробок патрони бойовики для шпурових зарядів виготовляють на місці підривних робіт перед заряджання, точно за кількістю зарядів. При проходці шахтних стволів їх готують заздалегідь і на поверхні.

При ручному заряджанні в горизонтальних і похилих виробках заряд, що складається з двох чи декількох патронів ВР, повинен вводитися в шпур одночасно. Бойовик можна досилати в шпур окремо.

Патрони-бойовики треба досилати в шпури обережно, без поштовхів. При заряджанні забороняється ущільнювати бойовики, а також проштовхувати їх ударами набійника.

У разі застосування порошкоподібних аміачно-селітерних ВР патрони необхідно спочатку розминати руками. Забороняється використовувати злежані патрони ВР, які неможливо розім'яти.

Забороняється розміщувати в одному шпурі вибухові речовини різних класів чи різних найменувань, а при суцільному заряді - більш одного патрона-бойовика.

Заряджати шпури на висоті більше 2 м від підосви виробки треба з риштування, сходів або інших пристосувань.

При заряджанні піднятєвих шпурів рекомендується зміцнювати весь заряд на тонкому стрижні з допущених матеріалів і посилати його в шпур повністю разом із глиняним пижом, після чого робити повну набійку частини шпуру, що залишилася. Заряджання в підтоплених вибоях стволів здійснюють через трубки, які вставляються в устя шпурів.

Набійки шпурів формують з максимально обережно. Забороняється ущільнювати набійку, що безпосередньо стикається з зарядом - перші порції набійки повинні бути невеликими.

У разі прямого ініціювання патрон-бойовик повинен бути розташований першим від устя шпуру. Електродетонатор вміщують у найближчій до устя шпуру торцевій частині патрона-бойовика так, щоб дно гільзи було направлене на дно шпуру (рис.18.1, *а*).

Допускається застосування зворотного ініціювання шпурових зарядів, при якому патрон-бойовик з електродетонатором розміщується першим від дна шпуру. У цьому випадку дно гільзи електродетонатора повинне бути спрямоване до устя шпуру (рис. 18.1, *б*). Патрони, у тому числі патрон-бойовик, треба вводити в шпур одночасно.

Автори зазначають, що при переході від прямого способу ініціювання шпурових зарядів до зворотного підвищується значення КВШ, знижується кількість відказів і неповних детонацій шпурових зарядів, тобто підвищується безпека робіт та зменшуються втрати труда і часу на зачищення забою.

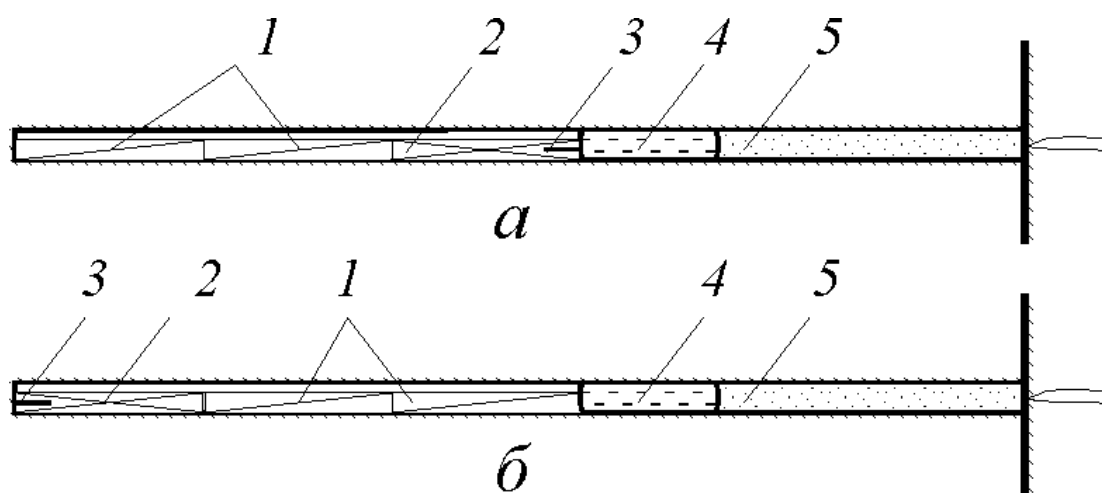


Рис. 18.1. Схеми шпурових зарядів при ініціюванні:
а і б – при прямому і зворотному;
1 – пасивні патрони; *2* – патрон-бойовик; *3* – електродетонатор; *4* – гідроампула;
5 – піщаноглиняна запірна набійка

У вугільних шахтах через труднощі заряджання шпурів та з інших причин застосовується в основному пряме ініціювання. У породних і змішаних вибоях підготовчих виробок у разі наявності газовиділення дозволяється застосовувати тільки запобіжні електродетонатори миттєвої і короткоуповільненої дії.

Якщо у виробках метан не виділяється і відсутній вибуховий пил, підривання може проводитися із застосуванням електродетонаторів миттєвої, короткоуповільненої й уповільненої дії з часом уповільнення до 2 с без обмеження серій уповільнення, що пропускаються. Однак аналіз літературних джерел і практичний досвід показали, що довжина детонаторних проводів вітчизняних електродетонаторів ЕДКУ-ПМ і ЕДУД не перевищує 2,5 м і приводить до необхідності нарощувати проводи, а їх ізоляція недостатньо міцна, що створює підвищену імовірність її пошкодження об стінки шпура при введенні у нього патронів, а також набійки і в свою чергу збільшує імовірність відказу. В цьому плані електродетонатори ДЕМ-Н чеського виробництва для зворотного ініціювання задовольняють необхідні вимоги довжина проводів становить 5...7 м і додаткового їх нарощування не потрібно, а ізоляція має достатню міцність, щоб не пошкодитися при заряджанні.

Досвід роботи на швидкісній проходці повітроподавального ствола ОП «Шахта ім. О.Ф. Засядько» показав, що при ініціюванні зарядів амоналу скельного № 1 пресованого чеськими детонаторами у шпурах глибиною 4...4,2 м досягнуте збільшення КВШ до величини близької до одиниці (при прямому ініціюванні довжина заходки не перевищувала 3,2 м). Згідно з даними хронометражу, проведеного в забої стовбура, середній час зачищення при прямому і зворотному способі ініціювання склав відповідно в сланцях 3...4 год і 1...1,5 год, а в пісковиках – 5...6 год і 1,5...2 год. Таким чином, за рахунок застосування зворотного спосо-

бу ініціювання досягнуто скорочення часу прохідницького циклу при інших рівних параметрах.

Нарівні з перевагами при зворотному ініціюванні за рахунок високого КВШ досягається незмінна величина відходу 4..4,2 м, що дозволяє втримувати постійним відхід (відстань від забою до опалубки).

Комплект зарядів у вибої допускається підривати окремо, але не більше, ніж за три прийоми. При цьому заряджання шпурів у кожному окремому прийомі повинне проводитися після підривання в попередньому і проведення заходів, що роблять безпечними вибухові та інші роботи.

18.1.2. Сигналізація при підричних роботах. Під час виконання підричних робіт майстер-підричник, що веде ці роботи, зобов'язаний вчасно подавати звукові сигнали (свистком). Забороняється подача сигналів голосом, а також із застосуванням вибухових матеріалів.

Сигнали подають у такому порядку.

Перший сигнал – «Попереджувальний!» (один тривалий) подається перед заряджанням шпурів.

Перед початком заряджання на границях небезпечної зони повинні бути виставлені пости, що забезпечують її охорону, а люди, не зайняті заряджанням, виведені в безпечні місця, заздалегідь зазначені особою технічного нагляду чи з його дорученням бригадиром (ланковим). Постовим забороняється доручати яку-небудь роботу, не пов'язану з виконанням прямих обов'язків. Забороняється заряджати шпури у присутності осіб, що не мають відношення до підричних робіт. У небезпечну зону дозволяється прохід тільки особам технічного нагляду підприємств і працівникам контролюючих органів.

У підземних виробках з вихідним вентиляційним струменем повітря, яким направляються продукти вибуху, пости не виставляються. Ці виробки повинні бути огорожені вивісками з написами, які забороняють вхід у небезпечну зону.

Після закінчення заряджання шпурів, розміщення посудин (пакетів) у привибійному просторі для створення запобіжного середовища помічники йдуть в укриття, майстер-підричник (особисто) приступає до монтажу підривної мережі. Для цього він з'єднує одним з допущених способів (у горизонтальних і похилих виробках найчастіше послідовно), між собою провідники всіх електродетонаторів шпурових і розпилювальних зарядів (до початку монтажу провідники всіх електродетонаторів були накоротко замкнені).

З моменту монтажу підривної мережі з усіх електроустановок і кабелів, що знаходяться в межах зони монтажу, тобто у виробках, у яких монтується електропідривна мережа,

напруга повинна бути знята (при струсному підриванні електроенергія відключається перед заряджанням). Допускається не відключати освітлювальні електричні мережі, що знаходяться в границях зони монтажу, і вентилятори місцевого провітрювання.

Після перевірки цілісності підривної мережі в привибійному просторі два вільних кінці детонаторних проводів приєднуються до магістральних проводів, замкнених накоротко на іншому кінці (при струсному підриванні – приєднує до постійної підривної магістралі). На шляху руху до місця укриття майстер-підривник розмотує проводи. Забороняється монтувати електропідривну мережу в напрямку від джерела струму (місця укриття) до вибою.

Місця укриття майстрів-підривників повинні знаходитися у виробках, які провітрюються свіжим струменем повітря за рахунок загальношахтної депресії на відстані не менше:

а) від міста змішування вихідного струменя зі свіжим:

- у горизонтальних і похилих (до 10°) підготовчих виробках – 150 м;
- у похилих, у тому числі у підняткових (більш 10°) підготовчих виробках – 100 м, але обов'язково в горизонтальній виробці і не ближче 10 м від устя виробки чи її сполучення з іншою;

б) від місця вибуху

- у лавах при куті залягання 18° і більш – 50 м, але не ближче 20 м від сполучення з лавою на штреку;
- в очисних вибоях камерного типу, а також при погашенні вугільних ціликів – 200 м;
- у щитових вибоях – 50 м, але не ближче 20 м від ходкової печі;
- при пропуску вугілля і породи у підняткових виробках – 100м;
- при проведенні стволів (шурфів) з поверхні – 50 м.

Безпечні відстані при струсному підриванні зазначені в § 10.1. У разі проходки й поглиблення стволів шахт підривання дозволяється проводити з поверхні чи з діючого горизонту зі свіжого струменя повітря.

Після монтажу електропідривної мережі, перевірки справності і визначення її опору (з укриття) майстер-підривник приєднує магістральні проводи до вибухового приладу, вставляє ключ у гніздо підривної машини і дає другий сигнал.

Другий сигнал – «Бойовий!» (два тривалих). За цим сигналом проводиться вибух (майстер-підривник повертає ключ на "вибух"). Якщо вибух не відбувся, від'єднують магістральні проводи від джерела струму і накоротко замикають їх кінці. Ключ від джерела струму беруть із собою і не менше, ніж через 10 хв., незалежно від типу електродетонаторів, дозво-

ляється підходити до місця вибуху для з'ясування причини відказу. Після усунення дефектів монтажу мережі роблять повторне підривання.

При електричному ініціюванні вибій дозволяється оглядати тільки після повного його провітрювання, від'єднання магістральних проводів від джерела струму і замикання їх накоротко. У будь-якому випадку з укриття треба виходити не раніше, ніж через 5 хв після вибуху.

Після вибуху, провітрювання виробки й особистого огляду місця майстер-підривник дає (якщо усе в нормально) третій сигнал.

Третій сигнал – «Відбій!» (три коротких). Він означає закінчення підривних робіт. Робітники повертаються у виробки.

Допуск людей до місця вибуху для наступних робіт може дозволятися особою технічного нагляду, що безпосередньо керує підривними роботами в даній зміні, або майстром-підривником лише після того, як буде встановлено, що робота в місці вибуху безпечна і вміст метану менше 2%.

Після закінчення підривних робіт і повного провітрювання виробки пости охорони і попереджувальних знаків знімає майстер-підривник чи інша особа за вказівкою інженерно-технічного працівника.

18.1.3 Ліквідація зарядів, що відказали. Заряд, що відказав (відказ) – це заряд ВР, що не вибухнув і залишився у місці його закладення (у шпурі). Його не можна ототожнювати з залишками патронів ВР у відбитому гірському масиві в результаті неповної детонації шпурових зарядів ВР. Якщо майстер-підривник установить, що не всі шпурові заряди вибухнули, він повинен сповістити про це технічний нагляд і приступити до негайної ліквідації відказів. Якщо в заряді, що відказав, були електродетонатори і провідники їх виявлені, то вони повинні бути замкнені накоротко.

У випадку неможливості точно установити повноту вибуху прохідники навантажують породу чи вугілля в місці, де може бути відказ під наглядом майстра-підривника. Як тільки буде виявлений заряд, що відказав, майстер-підривник видаляє робітників і починає його ліквідувати. Коли ці роботи не можуть бути закінчені в даній зміні, їх продовження доручають підривнику чергової зміни з відповідною відміткою у наряд-путівці і журналі для записування відказів і часу їх ліквідації.

Ліквідацію шпурових зарядів, що відказали, дозволяється проводити підриванням зарядів у допоміжних шпурах, пробурених паралельно тим, що відказали на відстані не ближче 30 см. Число допоміжних шпурів і місця їхнього закладення повинні визначатися осо-

бою технічного нагляду. Для встановлення напрямку таких шпурів дозволяється виймати із них матеріал набійки на довжину до 20 см від устя.

У виробках шахт, не небезпечних щодо газу чи пилу, у випадку виявлення проводів електродетонаторів, що виходять шпурового заряду, який відказав, підривнику дозволяється з безпечного місця перевірити допущеними для цієї мети приладами провідність містка електродетонатора і підірвати заряд, що відказав, у звичайному порядку.

Після ліквідації відказу оглядають гірську масу і збирають виявлені ВМ заряду, що відказав, після чого допускають прохідників до розбирання і збирання породи вручну і установлюють відсутність залишків ВМ. Зібрані ВМ здають на склад.

18.2. Особливості в організації проведення підривних робіт на земній поверхні

Після закінчення робіт з розрахунків зарядів і встановлення параметрів розташування свердловин (W , a) роблять розмітку місць їх закладення. На практиці часто необхідність зрушити місце закладення свердловини в той чи інший бік від наміченої точки з метою зручності буріння. Зміна сітки розташування свердловин на 5% не вимагає перерахунку зарядів. При більшому відсотку змін треба зробити перерахунок зарядів.

Коли свердловини пробурені, заміряють відстані між ними, величину лінію найменшого опору і глибину кожної свердловини й уточнюють заряд. Перед заряджанням на кожну свердловину складається ескіз зі схемою розташування в ній заряду з вказівкою маси і довжини окремих його частин, довжини інертних прошарків і набійки. Матеріал набійки доставляється до свердловин завчасно. Перед початком заряджання всі механізми і машини (бурові верстати, екскаватори і т.д.) забирають на безпечну відстань. залізничні колії перед вибоєм, що підривається, повинні бути зняті на площині передбачуваного розвалу породи. Ширина розвалу складає $(1,5...2,5)H$, рахуючи від лінії розташування свердловин.

У разі заряджання порошкоподібною ВР у свердловину опускають дві нитки детонувального шнура (основна і дублююча). Для більшої надійності у спрацьовуванні зарядів до ниток ДШ прив'язують тротилу шашку, після чого засипають ВР. Після засипання кожної чергової порції ВР (30...40 кг) у свердловину опускають вимірювальний шнур з підв'язаним свинцевим чи бронзовим важелем і перевіряють висоту заряду. Під час заряджання і набійки необхідно стежити за збереженням лінії ДШ. По закінченні заряджання роблять набійку, засипаючи свердловину інертним матеріалом. Першу порцію набійки в свердловину повинен уводити підривник, що робив зарядку, іншу частину – його помічники. У матеріалі набійки не повинно бути каміння, яке здатне зашкодити засобу ініціювання. Кращі матеріали

набійки для вертикальних шпурів і свердловин – буровий дріб'язок, відходи збагачувальних фабрик, дрібнозернистий злегка зволожений пісок та ін.

Заряджання з повітряними проміжками рекомендується як при однорядному під-
риванні свердловин, так і при багаторядному. Заряди з повітряними проміжками розрахову-
ють як суцільні. Розраховані масу і довжину заряду розподіляють на дві-три частин відпові-
дно до наведених рекомендацій. Заряди рекомендується робити комбінованими – нижню ча-
стину свердловин заряджати більш потужною ВР, а верхню – менш. При наявності припливу
води в свердловину нижню частину її доцільно заряджати гранульованими алюмотолом чи
тротилом у суміші з аміачною селітрою. Поверх зарядів гранулітів і зерногранулітів для без-
відмовного їхнього ініціювання як проміжний детонатор доцільно вміщувати невелику кіль-
кість (10 кг) добре подрібненого амоніту 63В чи шашку-детонатор Т-400 чи Т-500.

У разі заряджання свердловини ігданітом (іншим аналогічним типом ВР) змішу-
вання селітри з мінеральним маслом роблять у вибої. На великих кар'єрах цей процес механі-
зують (табл. 18.1).

Таблиця 18.1. Технічні характеристики зарядних машин для кар'єрів

Показники	МЗ-3А	МЗ-3Б	МДЗ-1М	МЗ-8	МЗ-4
Вантажопідйомність, т	10	10	10	7	5
Продуктивність заряджання, кг/хв	300	600	350	650	450
Місткість:					
бункера	11,3	11,3	11,5	9,0	26,6
змішувальної камери дозатора	220	---	150	9,0	---
бака солярного масла	700	700	1000	---	1500
Маса з ВР, т	23,5	23	23,5	20	49,5

Зарядна машина МЗ-3Б виконує ті ж операції, що і МЗ-3А, але, на відміну від неї,
додатково оснащена пристроєм для розосередження зарядів у свердловині пневмозатворами і
для видалення води зі свердловин. Basisю для МЗ-3А і МЗ-3Б служать шасі автомобіля Краз-
256Б.

Машина МЗ-4 функціонально виконує ті ж операції, що і МЗ-3А. Основною від-
мінністю – висока вантажопідйомність. Ці зарядні машини варто застосовувати на великих
кар'єрах з об'ємом заряджання більш 200 т ВР.

Машина МДЗ-1М застосовується для доставки сухих акваторальних сумішей до
місць проведення підривних робіт і перевантаження сумішей ВР в установки типу Акватор, а
також для доставляння і заряджання свердловин гранульованими ВР. Устаткування змонто-
ване на шасі автосамозвалу КрАЗ-256Б. Машина МЗ-8 являє собою бункер, змонтований на
автомобілі МАЗ-563Б, з розміщеними усередині нього пневматичними діафрагмами для пе-

реміщення ВР. ВР із бункера самопливом надходить в об'ємний дозатор, відкіля також самопливом – у свердловину.

Для робіт на невеликих за продуктивністю кар'єрах і будівельних об'єктах з обсягом споживання на рік до 500 т можуть використовуватися зарядні машини типу ЗШ-120, ЗШ-400 і ЗШ-1200, створені для підземних рудників.

Для заряджання шпурів і свердловин у важкодоступних умовах застосовують пневмозарядники типу ЗМК-1 чи ЗМБС-2, потужністю 25 і 100 кг/хв.

При механізованій набійці свердловин варто застосовувати незв'язаний добре сипучий матеріал. На кар'єрах Кривбасу та інших у якості набійки застосовують відходи збагачувальних фабрик із крупністю часток до 25 мм.

На проміжні склади матеріал набійки доставляється у самоскидах. У бункери забійних машин набійку завантажують екскаваторами невеликої продуктивності чи тракторними навантажувачами. Тривалість заповнення набійкою однієї свердловини становить 30...40 с. У середньому на набійку однієї свердловини з урахуванням підготовчо-заклучних операцій витрачається 6...7 хв. Застосування машин для набійки свердловин забезпечує підвищення продуктивності праці в 3 рази і знижує собівартість цієї операції в 2 рази в порівнянні з набійкою вручну. У даний час для набійки свердловин застосовуються машини ЗС-1М і ЗС-2М (табл. 18.2).

Таблиця 18.2. Технічні характеристики деяких забійних машин

Показники	ЗС-1М	ЗС-2М
Вантажопідйомність, т	5	11
Діаметр свердловини, мм	≥190	≥190
Продуктивність, кг/хв	1700	1700
Місткість одного бункера, м ³	4	4,4
Маса повна, т	13,35	23,5

Вибухову мережу монтують після закінчення заряджання і набійки свердловин, виведення людей і видалення устаткування з небезпечної зони.

Вибухову мережу з ДШ монтують у такий спосіб. Магістраль, що складається (щоб уникнути відказів) із двох ниток ДШ, протягають уздовж заряджених свердловин на відстані 0,3...0,5 м від них. Лінії ДШ при цьому з'єднують між собою через кожен метр. До магістралі приєднують нитки ДШ, що йдуть зі свердловин. У разі монтажу підривної мережі використовують ДШ однієї партії і застосовують один тип з'єднань – внакладку, внакрутку, подвійний морський вузол і т.д.

При застосуванні піротехнічних уповільнювачів (КУДШ та інших типів) у місцях їх приєднання (вмонтування) в магістралі залишають спеціальні розриви. Після завершення монтажу мережі підривник перевіряє її правильність від кінця мережі до точки ініціювання.

Магістральні лінії ініціюють за допомогою двох електродетонаторів чи двох запалювальних трубок.

Глава 19

Вартість робіт буропідривного комплексу за прямими унормованими витратами

Вартість робіт буропідривного комплексу включає витрати, пов'язані з бурінням шпурів, роботою майстра-підричника, витратою вибухових матеріалів, матеріалів, потрібних для створення в привибійному просторі запобіжного середовища, і експлуатацією бурильних машин.

19.1. Витрати на заробітну плату

Порядок розрахунку такий. Визначають обсяг робіт з буріння шпурів (W_6). При розрахунку параметра W_6 весь вибійний комплект шпурів умовно розбивають на однотипні групи, кількість яких залежить від типу прийнятого вибухового врубу і загальної схеми розташування шпурів. Наприклад, при клиновому врубі в міцних породах у виробках з великою площею перерізу такі групи можуть бути: основні, допоміжні і розрізні шпури вибухового врубу (кожний з цих видів шпурів забойного комплексу має свою довжину і кут нахилу), допоміжні, предконтурні і оконтурювальні:

$$W_6 = \frac{l_{ш1} \cdot N_1}{\sin \alpha_1} + \frac{l_{ш2} \cdot N_2}{\sin \alpha_2} + \dots + \frac{l_{шn} \cdot N_n}{\sin \alpha_n}, \quad (19.1)$$

де $l_{ш1}, l_{ш2}, \dots, l_{шn}$ – глибина, м, даної (однотипної) групи шпурів;

$N_1, N_2, \dots, N_n$ – кількість шпурів у даній (однотипної) групі;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – кути нахилу шпурів у даній групі.

Визначають кількість людино-змін, які затрачаються для буріння шпурів на одну заходку K_6 , як частка від розподілу обсягу робіт на норму виробітку, а саме:

$$K_6 = W_6 / H_6, \quad (19.2)$$

де H_6 – норма виробітку на буріння шпурів.

Визначають пряму заробітну плату C_6 , грн. множенням тарифної ставки на кількість людино-змін, а саме:

$$C_6 = T_6 \cdot K_6, \quad (19.3)$$

де T_6 – тарифна ставка бурильника шпурів, грн...

Розрахунки, пов'язані з визначенням вартості робіт з буріння шпурів, зводять в табл. 19.1.

Таблиця 19.1. Витрати на заробітну плату бурильникам шпурів

№	Оббурена група шпурів	Обсяг робіт на заходку W_6 , м	Норма ви-робітку (Н.В.б.)	Число люд-зм на заходку, K_6	Тарифна ставка T_6 , грн..	Пряма заробітна плата C_6 , грн..
---	-----------------------	----------------------------------	---------------------------	--------------------------------	------------------------------	-------------------------------------

Загальна вартість робіт буропідривного комплексу на ділянці виробки, яка рівна довжині заходки по заробітній платі складе:

$$C_{з.в.} = C_6 + C_{підр}, \quad (19.4)$$

де $C_{підр}$ – витрати на оплату робіт майстра-підричника на ділянці виробки довжиною рівною одній заходці, грн..

Місячна заробітна плата майстра-підричника встановлюється з урахуванням тарифної ставки (4-го розряду), кількості виходів на місяць (20...22), умов роботи і приблизно становить 400...500 грн.. на місяць. Це означає, що, наприклад, при виконанні одного циклу за добу витрати на оплату робіт майстра-підричника на ділянці виробки довжиною однієї заходки у середньому будуть 10 грн..

19.2. Витрати на матеріали

Розрахунки, пов'язані з визначенням вартості матеріалів, що витрачаються при проведенні підривних робіт на заходку, зводять в табл. 19.2.

Таблиця 19.2. Витрати на матеріали, що витрачаються при підривних роботах C_m

№	Матеріали	Кількість матеріалів на заходку	Ціна одиниці матеріалів, грн.	Вартість матеріалів на заходку, грн.
---	-----------	---------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------

У неї заносять усі матеріали, що витрачаються на одну заходку (вибухові речовини, засоби ініціювання, а також матеріали, що витрачаються на створення набійки шпурів і запобіжного середовища). Ціни на матеріали беруть відповідними прейскурантами. Наприклад, орієнтовані ціни на матеріали, які використовуються для проведення підривних робіт, наведені в табл. 19.3.

Таблиця 19.3. Заводська орієнтована вартість вибухових та інших матеріалів, які використовуються під час вибухових робіт

№	Матеріали	Ціна за станом на 2000 р., грн..
<i>Вибухові речовини</i>		
1.	Детоніт М, т	12200
2.	Грамоніт 79/21, т	2600
3.	Тротил, т	4200
4.	Амонал скельний №1 пресований, т	12500
5.	Амоніт 63В, т	6800
6.	Амоніт Т-19, т	6300
7.	Вугленіт Э-6, т	9300
8.	Вугленіт 13П, т	14500
9.	Вугленіт 13П/1, т	14700
10.	Вугленіт 10П, т	13800
11.	Запобіжні патрони П12 ЦБ-2/2,1000 шт	7200
12.	Іоніт, т	12200
<i>Електродетонатори</i>		
13.	ЕДКУ-ОП, 1000 шт.	1720
14.	ЕДКУ-ПМ, 1000 шт.	1710
15.	ЕДУД, 1000 шт	1930
<i>Інші матеріали</i>		
16.	Поліетиленові ампули, 1000 шт	37
17.	Поліетиленові судини, 1000 шт	350
18.	Вибухотамуючий порошок КСВ-30, т	400

19.3. Витрати, пов'язані з експлуатацією бурової техніки

Для визначення витрат, пов'язаних з експлуатацією бурових установок $C_{мз}$, необхідно вартість однієї машино-зміни $C'_{мс}$ помножити на кількість машино-змін $K_{мз}$, що втрачаються на буріння шпурів на ділянці, яка дорівнює довжині заходки

$$C_{мз} = C'_{мс} \cdot K_{мз} \quad (19.5)$$

Для визначення параметра $K_{мз}$ треба спочатку визначити тривалість буріння шпурів у годинах за формулою

Глава 20

Відповідальність за порушення правил безпеки при підривних роботах

20.1. Інструктивно-інформаційне забезпечення

Технологічна схема гірничодобувного підприємства – це сукупність основних і допоміжних виробничих процесів у сполученні з необхідними для їх виконання виробленнями, засобами механізації й автоматизації, що забезпечує при раціональній організації робіт безпечну й ефективну розробку родовища.

Безаварійна робота вугільних шахт залежить від безлічі технічних, технологічних і організаційних факторів. Наприклад, безпека підривних робіт залежить від 38 різнопланових параметрів, порушення більшості яких може привести до спалаху чи вибуху пилогазоповітряних сумішей.

Всілякі аварії, у тому числі спалахи і вибухи, починаються там, де трудовий процес не оптимізований чи оптимізація порушена.

Це означає, що безпеку гірничих робіт можна забезпечити лише шляхом оптимізації всього трудового процесу за рахунок складання інструкцій і інших нормативно-правових документів, що регламентують область застосування даного технологічного процесу, а також умови і порядок його виконання.

Тому ще в 1887 р. після ряду вибухів у вугільних шахтах при виробництві підривних робіт застосування пороху в шахтах, небезпечних щодо газу, було заборонено спеціальним директивним документом.

У 1892 р. Міністерство державних майн Росії, куди входив гірничий департамент, випустило спеціальні правила, у яких, зокрема, указувалися вибухові речовини, що допускаються в рудниках, що знаходяться на газовому положенні.

У 1920 р. був виданий перший у нашій країні збірник техніки безпеки (прототип діючих Правил безпеки), що у 1924 р. був значно перероблений і доповнений рядом нових положень, заснованих на представницьких результатах досліджень, проведених для умов Донбасу. Багато положень правил безпеки, запозичених із закордонних правил, у цьому збірнику були уточнені і доповнені.

В даний час нормативними документами, у яких оптимізований увесь процес ведення гірських робіт з урахуванням особливостей, можливостей і меж людського організму, є «Правила безпеки у вугільних шахтах», (ПБ) «Єдині правила безпеки при

підривних роботах». (ЄПБ). Це основні правові й інструктивні документи для інженерно-технічних працівників (ІТП).

Для робочих різних професій складені з урахуванням вимог діючих правил посадові інструкції.

Розробкою рекомендацій з безпеки, нормативних документів, способів і засобів забезпечення безпеки робіт у гірничій промисловості займається МакНДІ.

Допуск до застосування в шахтах нової техніки і технології, уточнення і зміна окремих параграфів діючих правил, а також контроль за їхнім дотриманням здійснює Державний департамент України по нагляду за охороною праці (Госнадзор охорони праці України) і його територіальні управління (Донецьке, Луганське і Львівсько-Волинське).

20.2. Функції підривника (майстра-підривника) і його помічників

Підривники (майстри-підривники) зобов'язані здійснювати особисто:

- переноску ЗІ;
- подачу звукових сигналів;
- виготовлення патронів-бойовиків;
- досилання патронів-бойовиків у шпури;
- монтаж електропідривної мережі;
- приєднання магістральних проводів до електропідривної мережі (після видалення помічників з вибою);
- ізоляцію місць з'єднань провідників (проводів);
- вимір опору (перевірку цілісності) мережі;
- приєднання магістральних проводів до клем вибухового приладу;
- підривання зарядів ВР.

Під час виконання підривних робіт двома і більше підривниками (майстрами-підривниками) у межах однієї небезпечної зони з їхнього числа повинен бути призначений старший, яким може бути робітник зі стажем роботи за професією не менше одного року.

Поміщикам майстра-підривника дозволяється:

- підносити патрони ВР до вибою;
- розкласти їх і досилати в шпури;
- подавати патрони ВР майстру-підривнику, у тому числі і патрони-бойовики;
- заповнювати водою гідроампули і поліетиленові посудини (мішки) для створення запобіжної завіси;
- підносити матеріалу набійки і формування набійки в шпурах.

20.3. Міри відповідальності посадових осіб та персоналу вибухових робіт

Неправильна дія персоналу, що здійснює підривні роботи, які викликані його некомпетентністю або зневагою до безпеки, призводять до створення ситуацій, при яких значною мірою травмуються інші трудящі, пов'язані з виробництвом підривань, які випадково опинилися в межах небезпечних зон.

Як показує аналіз аварій, що відбуваються в гірничій промисловості, більшість порушень ЕПБ відбувається через низьку кваліфікацію інженерно-технічних працівників з техніки безпеки взагалі і вибухозахисту зокрема. Тому на кожній шахті повинні проводитися щотижня розслідування всіх порушень, допущених її працівниками (на засіданнях постійно діючих комісій з техніки безпеки), за результатами яких виносяться адміністративні стягнення за порушення ПБ і ЄПБ, посадових інструкцій, розроблюються і приймаються заходи для недопущення порушень надалі.

Посадові особи і персонал підривних робіт підприємств несуть передбачену законодавством відповідальність за порушення Єдиних правил безпеки і розроблених відповідно до них інструкцій у дисциплінарному, адміністративному чи судовому порядку залежно від характеру порушень і їх наслідків.

Видача посадовими особами вказівок чи розпоряджень, що змушують підлеглих порушувати вимоги Єдиних правил безпеки, самовільне поновлення робіт, зупинених контролюючими органами, а також неприйняття посадовими особами заходів для усунення порушень, що допускаються в їх присутності підлеглими, є найгрубішими порушеннями встановленого порядку збереження, транспортування, використання й обліку ВМ.