

**Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук**

**ЗАСОБИ ІНІЦІОВАННЯ ПРОМІСЛОВИХ ЗАРЯДІВ  
ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН**

Житомир  
2011

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Житомирський державний технологічний університет  
Національний технічний університет України "КПІ"

**Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук**

# **ЗАСОБИ ІНІЦІЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН**

Монографія

Житомир  
ЖДТУ  
2011

ББК 33.133

УДК 679.85

3-21

*Рецензенти:*

*Лучко І.А. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної екології Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України "КПІ";*

*Луговий П.З. – доктор технічних наук, професор, завідуючий відділом № 7 Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, заслужений діяч науки та техніки України;*

*Полонський Л.Г. – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.*

### **Закусило Р.В.**

3-21 Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.

ISBN 978-966-683-316-0

*Розглянуто комплекс питань з технології виготовлення неелектричних систем ініціювання. Наведено відомості про первинні ініціюючі вибухові речовини і засоби ініціювання промислових вибухових речовин, умови їх використання. Розглянуто фізичні процеси ініціювання, детонації, кристалізації, що протікають у засобах ініціювання та їх компонентах. Наведено питання безпеки технологічних процесів і охорона праці при виробництві і експлуатації засобів ініціювання, а також методика та приклади розрахунку розповсюдження детонаційної хвилі в хвилеводах. Монографія може бути корисною для інженерів-вибуховиків, аспірантів та студентів вищих гірничих навчальних закладів.*

ББК 33.133

УДК 679.85

ISBN 978-966-683-316-0

© Закусило Р.В., 2011

© Кравець В.Г., 2011

© Коробійчук В.В., 2011



**ЗМІСТ**

ПЕРЕДМОВА.....	8
Розділ I. КЛАСИФІКАЦІЯ, ПРИЗНАЧЕННЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ .....	11
1.1. Класифікація засобів ініціювання та вибухових речовин, що застосовуються для них .....	11
1.2. Призначення і характеристика засобів ініціювання .....	13
1.3. Технічні вимоги до засобів ініціювання.....	19
1.4. Класифікація систем і способів висадження зарядів промислових вибухових речовин .....	21
1.5. Характеристики вибухових речовин і піротехнічних сполук, що застосовуються у засобах ініціювання .....	23
Розділ II. КАПСУЛІ-ДЕТОНАТОРИ ТА ЕЛЕКТРОДЕТОНАТОРИ ..	30
2.1. Капсулі-детонатори.....	30
2.2. Термостійкі капсулі-детонатори і капсулі-запалювачі .....	33
2.3. Електродетонатори миттєвої дії.....	35
2.4. Електродетонатори короткоуповільненої та уповільненої дій .....	38
2.5. Електродетонатори уповільненої дії, що захищені від сторонніх струмів .....	40
2.6. Електродетонатори запобіжні короткоуповільненої дії.....	43
2.7. Електродетонатори високовольтні .....	46
2.8. Електродетонатори та електрозапалювачі термостійкі .....	48
2.9. Електродетонатори для вибухового запресовування труб .....	51
2.10. Розрахунок електровибухових мереж .....	53
Розділ III. ДЕТОНУЮЧІ ТА ВОГНЕПРОВІДНІ ШНУРИ .....	56
3.1. Детонуючі шнури загального призначення .....	57
3.2. Засоби уповільнення дії детонуючих шнурів .....	60
3.3. Термостійкі детонуючі шнури та подовжені детонуючі заряди .....	61
3.4. Вогнепровідні шнури .....	66
3.5. Засоби запалювання вогнепровідних шнурів .....	69
3.6. Проміжні детонатори .....	73
3.7. Шнурові кумулятивні заряди .....	77

---

---

Розділ IV. НЕЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА ІНІЦІУВАННЯ.....	81
4.1. Існуючі неелектричні системи ініціювання .....	81
4.2. Вітчизняна неелектрична система ініціювання .....	83
4.3. Опис вітчизняної НСІ та її пристроїв .....	84
4.4. Монтаж неелектричної системи ініціювання, виготовлення проміжних детонаторів .....	87
4.4.1. Схема розміщення НСІ у вибої .....	87
4.4.2. Виготовлення проміжних детонаторів .....	89
4.4.3. Схеми ініціювання.....	90
4.4.4. Застосування НСІ "Імпульс" для підземних робіт.....	91
4.5. Порівняння вітчизняної НСІ з іноземними аналогами .....	91
Розділ V. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І ДЕТОНАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНІЦІУЮЧОЇ СИСТЕМИ .....	93
5.1. Хвильові ефекти в трубчастому хвилеводі, що детонує .....	93
5.2. Поширення вільних хвиль уздовж осьової лінії циліндричної оболонки.....	96
5.3. Побудова рішення рівнянь про рух рухомого навантаження .....	100
5.4. Методичні положення лабораторних досліджень .....	110
5.5. Закономірності детонаційних процесів у зразках варіантів вітчизняного хвилеводу .....	115
5.6. Детонаційні параметри хвилеводу.....	120
5.7. Дослідження процесу передачі детонації хвилеводу через розгалужувач .....	124
Розділ VI. ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ ДЕТОНАЦІЇ, МОДЕЛЮВАННЯ ІНІЦІУВАННЯ ВИБУХОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ, ПРОЦЕСИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВР.....	132
6.1. Основи теорії ініціювання вибуху ВР .....	132
6.1.1. Загальні поняття про ініціювання вибуху .....	132
6.1.2. Форми хімічного перетворення ВР, піротехнічних сполук і димного пороху.....	137
6.1.3. Характеристики чутливості ВР, димного пороху і піротехнічних сполук до впливу зовнішніх імпульсів ...	137
6.2. Процес ініціювання горіння ВР, порохів і піротехнічних сполук .....	141
6.2.1. Механізм горіння.....	141
6.2.2. Умови стійкості горіння.....	142

## **Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин**

---

---

6.2.3. Ініціювання горіння порохів.....	144
6.3. Фізична модель процесу ударно-хвильового ініціювання промислових вибухових речовин .....	146
6.4. Мінімальний ініціюючий імпульс проміжних детонаторів для промислових ВР.....	149
6.5. Процеси фракційної кристалізації бризантних вибухових речовин для засобів ініціювання.....	154
<b>Розділ VII. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ІНІЦІЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВР І СИСТЕМ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ .....</b>	
7.1. Загальні відомості.....	163
7.2. Система лазерного ініціювання зарядів ВР (оптична система ініціювання).....	165
7.3. Система електропідривання для гірничорудних робіт та імпульсної обробки матеріалів.....	167
7.4. Система електропідривання для сейсмозв'язки.....	169
7.5. Термостійка система електропідривання для герметичної прострілючно-вибухової апаратури .....	169
7.6. Термостійка система електропідривання для негерметичної прострілючно-вибухової апаратури.....	171
<b>Розділ VIII. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ ІНІЦІЮВАННЯ ТА ІНІЦІЮЮЧИХ ВР .....</b>	
8.1. Технологія виробництва електродетонаторів .....	173
8.2. Технологія виробництва термостійких електродетонаторів .....	174
8.3. Технологія виробництва детонуючих шнурів .....	175
8.3.1. Виробництво детонуючого шнура марки ДШ-А.....	175
8.3.2. Виробництво детонуючого шнура марки ДШ-В.....	176
8.3.3. Виробництво детонуючих шнурів типу ДШЕ .....	177
8.4. Технологія виробництва проміжних детонаторів .....	179
8.5. Технологія виробництва детонуючих хвилеводів .....	180
8.6. Технологія виробництва дрібнокристалічних ВР для детонуючих хвилеводів, шнурів і ПС.....	184
8.7. Технологія виробництва ініціюючих вибухових речовин.....	187
8.7.1. Технологія виробництва гримучої ртуті.....	187
8.7.2. Технологія виробництва азиду свинцю .....	188
8.8. Основи технології виробництва піротехнічних сполук .....	190

## Зміст

---

---

Розділ IX. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ, ТРАНСПОРТУВАННІ І ЗБЕРІГАННІ ЗАСОБІВ ІНІЦІЮВАННЯ.....	192
9.1. Основи побудови вибухобезпечних технологічних процесів виробництва вибухових матеріалів і засобів ініціювання .....	192
9.2. Загальні вимоги безпеки у виробництві засобів ініціювання .....	199
9.3. Загальні вимоги безпеки при виробництві ініціюючих вибухових речовин .....	201
9.4. Автоматизовані системи керування і контролю виробництва засобів ініціювання.....	201
9.5. Випробування засобів ініціювання.....	203



**СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ**

БВР – бризантні вибухові речовини  
ВР – вибухові речовини  
ВДТ – високодисперсний ТЕН  
ВМ – вибухові матеріали (ВР і ЗІ)  
ПДЗ – подовжений детонуючий заряд  
ДС – детонуюча сполука  
ДХ – детонуючий хвилевід  
ДШ – детонуючий шнур  
ДШТТ – таблетковий термостійкий детонуючий шнур  
ЗП – запалювальний патрон  
ІВР – ініціююча вибухова речовина  
ІУХ – ініціююча ударна хвиля  
КЗ – капсуль-запалювач  
КД – капсуль-детонатор  
МІ – мінімальний ініціюючий імпульс  
НСІ – неелектрична система ініціювання  
ОПСІН – оптична система ініціювання  
ВШ – вогнепровідний шнур  
ПВР – промислова вибухова речовина  
ПВГ – патрон вибуховий герметичний  
ПВЗП – патрон вибуховий запобіжний  
ПГ – патрон герметичний  
ПД – проміжний детонатор  
ПДЗ – подовжені детонуючі заряди  
ПП – піропатрон  
ППТ – піропатрон термостійкий  
ПС – піротехнічна сполука  
РП – реле піротехнічне  
ЗВ – засіб висадження, що включають ЗІ  
ЗІ – засоби ініціювання  
ТКД – термостійкий капсуль-детонатор  
ТНРС – тринітрорезорцинат свинцю  
ТЕД – термостійкий електродетонатор  
ЕЗ – електрозапалювач  
ЕД – електродетонатор  
ЕЗ-ВШ – електрозапалювачі вогнепровідного шнура  
ЕЗП – електрозапалювальний патрон  
ЕЗТ – електрозапалювальна трубка

## ПЕРЕДМОВА

Вибуховими речовинами (ВР) називаються хімічні сполуки, а також сплави та суміші речовин які, здатні під зовнішнім впливом до швидкого хімічного перетворення, що супроводжується виділенням великої кількості тепла та утворенням газів.

ВР розділяють на три групи: ініціюючі, бризантні та металеві ВР, або порохи. У гірничодобувній промисловості України вибух – основний засіб підготовки гірської маси до наступних технологічних операцій. Вибухові роботи отримали широке поширення в багатьох галузях народного господарства. Вибухом не тільки руйнують гірські масиви, але і цілеспрямовано переміщують їх у заданому напрямку, наприклад, утворюють магістральні канали в іригаційному будівництві, створюють греблі для гідроелектростанцій, роблять скидання порожніх розкривних порід у вироблений простір на рудних і вугільних кар'єрах. Вибухом виконують обробку металевих деталей і конструкцій (зміцнення залізничних хрестовин і зубів екскаваторів, штампування, зварювання листових металів, розвальцьовування, запресовування і зварювання труб у решітках теплообмінників, різання труб і конструкцій інших профілів при демонтажі споруд тощо). Вибух широко застосовують на геологорозвідувальних роботах для створення сейсмічних хвиль при пошуку корисних копалин, торпедуванні і перфорації глибоких свердловин у нафтовій та газовій промисловості з метою підвищення їхньої продуктивності.

Для багатьох з перерахованих видів вибухових робіт потрібні специфічні типи вибухових речовин і засобів ініціювання (ЗІ), свої методи і системи висадження зарядів. Тому в наш час розроблено різноманітний асортимент вибухових матеріалів (ВМ), що безупинно оновлюється та вдосконалюється у зв'язку із усе більш високими вимогами. Останні впливають із необхідності підвищення ефективності та безпеки робіт, які в останні роки нерідко проводяться механізованим способом.

У промисловій техніці терміном "засоби ініціювання" позначають різні пристрої та пристосування для ініціювання початку реакції в системах, здатних до вибухового перетворення або горіння. Щоб викликати таке перетворення, необхідно надати системі деяку кількість енергії – початковий імпульс.

## Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин

Види енергії для порушення системи: механічна (удар, тертя), тепла, електрична, хімічна й енергія вибуху іншої речовини. Вибір енергії визначається призначенням та умовами застосування даного виду заряду, а також його чутливістю до впливу різних форм енергії.

Засоби ініціювання використовуються в різних вибухових пристроях і при виконанні вибухових робіт.

Засоби ініціювання, крім основних елементів, можуть містити і додаткові деталі та пристрої, які служать для підвищення міцності, посилення дії основних елементів, обтюрації газів тощо. Наявність тих або інших додаткових деталей та пристроїв визначається призначенням і конструкцією засобів ініціювання.

Ефективність використання енергії вибухових речовин при виконанні вибухових робіт, безпека в експлуатації залежать від якості засобів ініціювання.

Тому до засобів ініціювання висуваються наступні вимоги:

- Безвідмовність дії – надійне спрацьовування від відповідних початкових імпульсів, що залежить від чутливості засобів ініціювання до даного виду початкового імпульсу.

- Спрацьовування заряду, що ініціюється, з максимальним коефіцієнтом корисної дії.

- Одноманітність дії: величина початкового імпульсу та його інтенсивність значною мірою впливають на характер перетворення заряду, що ініціюється, та ефективність його дії. Застосування недостатньо потужних імпульсів при ініціюванні зарядів бризантних ВР може призвести до відмов, неповної детонації та ін. Тому потужність засобів ініціювання має забезпечити не тільки безвідмовну, але й одноманітну дію ініціюємих зарядів.

- Безпека в експлуатації: при транспортуванні, під час ударів, які неминучі у виробництві засобів ініціювання і при їхньому використанні. Допустимі напруження визначаються в кожному окремому випадку відповідно до ТУ.

- Збереження первісних якостей протягом установленого часу зберігання. Не допускаються хімічна взаємодія між окремими елементами засобів ініціювання, зволоження, розкладання вибухових або горючих матеріалів. Про стійкість при зберіганні судять, зазвичай, за результатами випробувань виробів, що піддавалися тим або іншим впливам.

- Виробничо-економічні вимоги: простота конструкції; стандартизація й уніфікація засобів ініціювання; застосування недефіцитних матеріалів.

Номенклатура асортименту основних засобів ініціювання містить: капсули-детонатори (КД) променевої та накольної дії звичайні й термостійкі; електродетонатори (ЕД) миттєвої, уповільненої (секундної, напівсекундної, чвертьсекундної) і короткоуповільненої (мілісекундної) дії; ЕД, що захищені від сторонніх струмів, і ЕД високовольтні, термостійкі (ТЕД) для глибоких свердловин; запобіжні ЕД для вугільних шахт, небезпечних за газом і пилом, а також ЕД спеціального призначення і прилади для групового висадження всіх названих типів ЕД.

В останні роки прогрес у технології вибухових робіт на підземних рудниках був досягнутий завдяки впровадженню ЕД із широким діапазоном, що дозволило підвищити точність і розширити можливості електричного висадження.

Поряд з електричним способом висадження великого поширення набув спосіб висадження за допомогою детонуючого шнура (ДШ). Нині, у зв'язку з обводненістю багатьох кар'єрів, поряд з обмежено водостійкими ДШ розроблено водостійкі ДШ у поліетиленовій оболонці (ДШЕ-12, ДШЕ-12М); створено високопотужні водостійкі детонуючі шнури ДШЕ-30 і ДШЕ-50 для нового прогресивного способу сейсморозвідки. Ці марки ДШ придатні також для безпосереднього ініціювання (без проміжного детонатора) свердловинних зарядів гранульованих ВР. Розроблено окремий асортимент термостійких ДШ для геофізичних робіт у нафтовій і газовій промисловості, у геології. Піротехнічні реле із трьома ступенями уповільнення, що дозволяють за допомогою ДШ робити короткоуповільнене висадження зарядів ВР.

Автори висловлюють свою подяку рецензентам за цінні зауваження, зроблені при розгляді рукопису монографії. Автори будуть вдячні викладачам та іншим фахівцям, які викладають у вищих навчальних закладах курси засобів ініціювання ВР, вибухових промислових матеріалів, гірничої справи, за зроблені зауваження і побажання, спрямовані на поліпшення змісту книги, що буде враховано при перевиданні.

**Розділ I**  
**КЛАСИФІКАЦІЯ, ПРИЗНАЧЕННЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ**

**1.1. Класифікація засобів ініціювання та вибухових речовин, що застосовуються для них**

Для вибухових робіт у народному господарстві застосовують вибухові матеріали (ВМ), що містять вибухові речовини і засоби висадження (ЗВ). До ЗВ належать засоби ініціювання (ЗІ), а також допоміжні пристрої або прилади для їхнього використання. Під загальним терміном ЗІ розуміють пристрої, що діють від певного виду простого зовнішнього імпульсу (теплого, механічного та ін.) і виділяють енергію у вигляді ударної хвилі для ініціювання початку детонації в зарядах ВР або у вигляді променя вогню (форсу) для запалення вибухових зарядів (наприклад, димного пороху, піротехнічних сполук і деяких високочутливих бризантних ВР) [1].

За характером дії ЗІ поділяють на засоби детонації та засоби запалювання.

Засоби детонації здійснюють безпосередній початок детонації в зарядах, що детонують основний заряд ВР, і називаються основними ЗІ. До них належать капсулі-детонатори, електродетонатори і, деякою мірою ДШ. Останні, крім того, використовують і для передачі детонації на значні відстані – від місця ініціювання за допомогою КД або ЕД безпосередньо до зарядів промислових ВР, які розміщені в свердловинах або шпурах у гірському середовищі, або ж до розміщених у зарядах проміжних детонаторів (ПД) у вигляді шашок або патронів.

До засобів запалювання належать капсулі-запалювачі (КЗ) ударної і наколеної дії, електрозапалювачі (ЕЗ), вогнепровідні шнури (ВШ) і допоміжні засоби для їх одиночного або групового запалювання: запалювальні патрони (ЗП); піропатрони (ПП); електрозапалювальні патрони і трубки (ЕЗП, ЕЗТ); гніт запалювальний (тліючий). До допоміжних ЗВ також належать проміжні детонатори (тротилі та інші шашки, амонітні патрони-бойовики).

Для виготовлення ЗІ застосовують ініціюючі вибухові речовини (ІВР) і деякі бризантні вибухові речовини, а також порохи (зокрема, димні) і піротехнічні сполуки (ПС). У загальному розумінні вибуховими речовинами називають індивідуальні хімічні сполуки і

## Розділ I. Класифікація, призначення і технічні вимоги

---

---

їхні суміші, що містять кисень і горючі елементи і здатні під впливом зовнішнього ініціюючого імпульсу до надзвичайно швидкого хімічного перетворення, що самопоширюється, з виділенням великої кількості тепла і сильно нагрітих газів і пари, тиск яких робить механічне руйнування і переміщення середовища (гірської породи, стиснутого повітря у вигляді ударної хвилі).

У поняття ВР входять як детонуючі з'єднання, і суміші, які здатні за певних умов горіти без вибуху, так і порохи, піротехнічні сполуки, які крім горіння можуть детонувати. Залежно від фізико-хімічних властивостей таких типів ВР процес вибухового перетворення їхніх зарядів протікає з різною швидкістю і по якісно різних механізмах.

За швидкістю і механізмом протікання вибухові процеси ділять на горіння, вибух і детонацію:

- процес горіння порохів, піротехнічних сполук і багатьох ВР протікає порівняно повільно і часто стаціонарно, зі швидкістю від часток сантиметра до декількох метрів на секунду;

- вибух цих сполук відбувається зі швидкістю кілька тисяч метрів на секунду, що може змінюватися в широких межах залежно від заряду і умов висадження; він може протікати у формі вибухового горіння або у формі детонації;

- детонацією називають процес вибухового перетворення, що поширюється по заряду з постійною швидкістю, яка є максимальною для хімічного складу даної речовини та її фізичного стану.

До ІВР належать індивідуальні хімічні сполуки (рідше їхні суміші), які здатні детонувати від незначного механічного або теплового впливу зовнішнього імпульсу (променю вогню, уколу) з досить коротким періодом наростання швидкості до максимального значення з моменту їхнього ініціювання. Процес ініціювання всіх вибухових систем починається з горіння, яке переходить у детонацію. В ініціюючих ВР час такого переходу мізерно малий. Вони не здатні скільки-небудь тривало горіти, а проініційовані практично відразу детонують.

З ІВР у ЗІ застосовують гримучу ртуть і азид свинцю, рідше азиди інших металів (срібла, кадмію). Їхні заряди зазвичай ініціюють променем вогню вогнепровідного шнура або піротехнічного складу. Вони в малих масах (0,15–0,5 г) викликають детонацію багатьох інших хімічних індивідуальних ВР (ТЕН, гексоген та ін.). Ці ВР, як і вибухові суміші (амоніт, амонал, грамоніт, грануліт та ін.), називають бризантними (БВР) за їхню здатність робити бризантну (дроблячу) дію на тверду перешкоду, яка примикає до зарядів ВР (наприклад, гірська

порода). Детонацію БВР на практиці одержують (на противагу ІВР) тільки імпульсом ударної хвилі достатньої інтенсивності, який утворюється при детонації заряду ІВР або іншої БВР, що детонує з великою швидкістю.

Сумішевими БВР називають механічні суміші вибухових і невибухових компонентів, одні з яких містять кисень і виконують функцію окислювача, а інші складаються з вуглецю, водню або деяких інших хімічних елементів, що відіграють роль пального в окислювально-відновній реакції в процесі вибухового перетворення.

З хімічно індивідуальних ВР у ЗІ (КД, ЕД, ДШ) використовують ТЕН, гексоген, октоген та ін. Тротил у вигляді пресованих шашок застосовують як проміжний детонатор для ініціювання промислових вибухових речовин (ПВР). З існуючого асортименту ПВР тільки амоніти, амонали і деякі інші їхні типи здатні в порошкоподібному стані детонувати від КД, ЕД і ДШ нормальної потужності. Гранульовані і водомісткі ВР вимагають проміжного детонатора або високопотужного ДШ.

Порохи поділяють на: піроксилінові, нітрогліцеринові (балістичні), сумішові твердопаливні (ракетні) і димні. У деяких ЗІ (ВШ, ЗП та ін.) застосовують димний (чорний) порох. У вигляді тонкої серцевини у вогнепровідних шнурах він згорає більш-менш рівномірно з постійною швидкістю, а у великих зарядах протікає в режимі вибухового горіння.

Піротехнічні сполуки (ПС) також являють собою гетерогенні механічні порошкоподібні суміші окислювача, пального і деяких інших компонентів (цементатори та ін.), що здатні запалюватися від зовнішнього теплового імпульсу і горіти з необхідною швидкістю, створюючи потужний форс полум'я або інший необхідний ефект. ПС застосовують у ряді ЗІ (ЕД та ін.) як запалювач або уповільнювач передачі ініціюючого імпульсу до зарядів ВР.

ПС, як і всі види пороху, крім стаціонарного горіння, завдяки якому вони і знаходять практичне застосування, здатні також у певних умовах детонувати, що і береться до уваги при вирішенні питань безпеки їхнього виробництва.

## **1.2. Призначення і характеристика засобів ініціювання**

### **1.2.1. Засоби ініціювання початку детонації**

Капсулями-детонаторами називають пристрої, що призначені для ініціювання початку детонації зарядів БВР на багатьох видах вибухових робіт. Вони складаються з оболонки (гільзи або ковпачка),

## Розділ І. Класифікація, призначення і технічні вимоги

---

у донну частину якої запресований заряд масою 1 г (іноді і більше) потужної БВР (гексоген, ТЕН, октоген), а зверху в металевій чашечці розташований невеликий заряд ІВР (0,15–0,5 г азиду свинцю, азиду кадмію або гримучої ртуті) іноді в комбінації з запалювальним або піротехнічним складом, як, наприклад, у термостійкому КД. За способом ініціювання детонації променем вогню КД називають пристроєм променевої дії.

Капсулями-запалювачами називають пристрої, що складаються з металевої оболонки (ковпачка із чашечкою), заповненої запалювальним складом. За способом ініціювання детонації КЗ також називають пристроєм променевої дії. КД і КЗ, що споряджені термостійкими ВР і ПС, належать до групи термостійких ЗІ.

Електродетонаторами називають пристрої, що складаються із КД, у гільзі якого розміщений електрозапалювач (ЕЗ) з запалювальним або уповільнюючим ПС. Їх застосовують для тих же цілей, що і КД, але при так званому електричному способі ініціювання зарядів ВР. Електрозапалювач є складовою ЕД. Він складається з електричного містка накалювання. Останній являє собою ніхромовий дріт (ніхром – сплав 80 % нікелю і 20 % хрому), як правило, діаметром 30 мкм (у високовольтних ЕД він виконаний з константанового дроту діаметром 80 мкм або мідного дроту діаметром 100 мкм), на поверхню якого наносять шар запалювального ПС, а за необхідності – шар займистого ПС. Потім для зміцнення покривають запалювальну головку нітролаком. Від містка накалювання виводять із гільзи мідні ізольовані електропроводи необхідної довжини. Призначення ЕЗ – дати промінь вогню для запалення займистого складу або безпосередньо заряду ІВР, а в ЕД із уповільненням – запалити уповільнювач. ЕЗ також застосовують в електрозапалювальних трубках (ЕЗТ) і електрозапалювачах вогнепровідного шнура (ЕЗ-ВШ), які використовують для запалювання ВШ при електровогневому способі висадження.

Існує кілька типів ЕД, що призначені для різних умов застосування. Їх поділяють за конструкцією та способом кріплення містка накалювання до ЕД (еластичне і жорстке кріплення), а також за іншими ознаками.

При еластичному способі кріплення місток припаюється до кінців вивідних проводів. Цей спосіб застосовується рідше, оскільки в процесі виготовлення ЕЗ довжина містка накалювання може змінюватися в значних межах, що призводить до більшого розкиду опору ЕД.



Найбільшого поширення набув спосіб жорсткого кріплення містка на спеціальному каркасі, що не дозволяє змінювати його довжину за припустимі межі, це, в свою чергу, забезпечує стабільність встановленого для нього електричного опору.

ЕД поділяють:

- за часом спрацьовування на:
    - а) миттєвої дії (ЕД-8), в яких відсутній уповільнюючий ПС;
    - б) уповільненої дії (ЕД-У-Н, ЕД-1-3-Т);
    - в) короткоуповільненої дії (ЕД-КЗ);
  - за потужністю на:
    - а) нормальної потужності (ЕД-8 та ін. з масою вторинного заряду 1 г);
    - б) підвищеної потужності (ЕДКЗ-ПКМ із масою вторинного заряду 1,45 г);
  - за чутливістю до електричного імпульсу на:
    - а) нормальної чутливості (ЕД-8 та ін. з безпечною силою струму 0,2 А);
    - б) захищені від сторонніх струмів силою до 0,9 А і розрядів статичної електрики до 10 кВ (ЕД-1-8-Т, ЕД-1-3-Т);
    - в) високовольтні (ЕДВ) із захистом від напруги постійного струму до 10 кВ;
  - за умовами застосування на класи:
    - а) для відкритих робіт і шахт, не небезпечних за газом і пилом (ЕД-8, ЕД-У-Н та ін.);
    - б) запобіжні для шахт, небезпечних за газом і пилом (ЕДКЗ-ОП, ЕДКЗ-ПКМ);
    - в) термостійкі для глибоких нафтових і газових свердловин, де температура перевищує 100 °С, а тиск вище за 80 МПа (ТЕД-165, ТЕД-200, ТЕД-270). Останнім часом розроблено ЕД спеціального призначення (ЕД-22, ЕД-27 та ін.), що використовують для вибухового запресовування і зварювання труб у решітках теплообмінних апаратів.
- Час спрацьовування ЕД миттєвої дії після подачі електричного струму 2–6 мс. ЕД-3-Н мають час спрацьовування від 20 до 10 000 мс.

### **1.2.2. Експлуатаційні характеристики засобів ініціювання**

Перелічимо основні експлуатаційні характеристики ЗІ:

1. Електричний опір ЕД – сумарний опір постійному струму містка накалювання і кінцевих його проводів.
2. Безпечний струм ЕД – верхня межа постійного струму, що не викликає вибуху ЕД при впливі протягом 5 хв. За величиною струму

## Розділ І. Класифікація, призначення і технічні вимоги

---

---

судять про безпеку ЕД до блукаючих струмів від сторонніх джерел електроенергії. Вона залежить від матеріалу і діаметра дроту містка накалювання, а також від складу ЕЗ електродетонатора. Величина безпечного струму не тільки характеризує стійкість ЕД до блукаючих струмів, але і визначає обмеження відносно струму, що застосовується при вимірі опору ЕД.

3. Запалювальний (безвідмовний) струм – струм, що характеризує чутливість до запалювання ЕЗ одиночних ЕД. Його величина залежить від тих же факторів, що і безпечний струм. Розрізняють тривалий і стомілісекундний запалювальні струми. Перший з них не обмежує час запалювання, а другий забезпечує безвідмовне запалення одиночних ЕД протягом 100 мс.

4. Імпульс запалення – величина імпульсу струму, що викликає запалення електрозапалювача в ЕД з наступним його вибухом.

5. Час спрацьовування ЕД – час від моменту включення струму до моменту вибуху ЕД.

6. Гарантійний струм – нижня межа постійного струму або ефективного значення змінного струму, що проходить через ЕД або групу ЕД та викликає детонацію з гарантованою ймовірністю.

7. Ініціююча здатність – здатність ЕД і КД викликати детонацію промислових ВР, яка стійко поширюється по всій довжині (масі) їхніх зарядів. Вона залежить від потужності застосовуваного БВР, маси і щільності запресовування їхнього заряду в гільзі, матеріалу, міцності і форми гільзи. За ініціюючою здатністю (потужністю) КД в світі поділяють на 10 номерів. Широко використовуються в нашій країні КД № 8 і ЕД-8, які містять 1 г БВР. У США використовують КД № 6, який містить 0,8 г БВР. Оцінку ініціюючої здатності проводять стандартним методом за величиною отвору, який утворює КД або ЕД у свинцевій пластинці певної товщини.

8. Водостійкість – здатність ЕД безвідмовно вибухати в групах по 20 шт. і більше після витримки у воді під тиском і протягом часу, який нормується для кожного конкретного типу ЕД.

9. Термостійкість – здатність ЕД безвідмовно детонувати і викликати детонацію зарядів БВР у середовищі з температурою вище 100 °С протягом заданого часу (зазвичай до 6 год.).

10. Стійкість до механічних впливів – здатність витримувати при лабораторних випробуваннях трясіння в умовах, що імітують транспортування, а також витримувати ударні навантаження певної величини (зазвичай 5 Дж).

На ці характеристики ЗІ встановлено технічні нормативи. ЕД, як і КД, високочутливі до механічних ударних навантажень. Вони вибухають при енергії удару більше 4 Дж, тоді як БВР витримують енергію удару до 6,5 Дж.

### 1.2.3. Засоби для ініціювання початку детонації та її передачі

До них належать подовжені шнурові детонуючі заряди в еластичній або металевій оболонці (ДШ і ПДЗ відповідно) і піротехнічне реле РП передають детонаційний імпульс ПДЗ і ДШ і підривають заряди БВР безпосередньо або через ПД.

ДШ за потужністю поділяють на малопотужні (містять у серцевині до 4 г/м БВР), нормальної потужності (6–20 г/м БВР – ДША, ДШЕ-12 та ін.) і підвищеної потужності (30 г/м і більше БВР – ДШЕ-30, ДШЕ-50 та ін.).

За призначенням всі ДШ умовно можна поділити на ДШ загального (нормальної потужності) і спеціального призначення (малої потужності, посилені, термостійкі, стійкі до агресивних середовищ, змінної потужності та ін.). Термостійкі ДШ призначені для прострілко-вибухових робіт у нафтових і газових свердловинах. Існує багато номенклатури ДШ.

Основні характеристики ДШ і ПДЗ такі:

- ініціююча здатність, що обумовлена як типом використовуваного БВР, так і швидкістю його детонації, зазвичай буває не менше 6 км/с (застосовують ТЕН і гексоген, а в термостійких ДШ – гексоген, октоген та інші термостійкі ВР);
- безвідмовність детонації залежить від безперервності та рівномірності розподілу БВР у серцевині шнура;
- термостійкість, водо- і морозостійкість для безвідмовного застосування у всіх гідрологічних і кліматичних умовах, що зустрічаються в практиці вибухових робіт;
- еластичність при негативних температурах (до  $-60^{\circ}\text{C}$ ), збереження здатності до в'язання вузлів, гнучкості без зламів і тріщин їхніх оболонок;
- сприйнятливості до детонації від КД і ЕД нормальної потужності та від ДШ;
- механічна міцність має бути більшою за навантаження, що виникає при вибухових роботах у процесі експлуатації ДШ.

При короткоуповільненому висадженні зарядів застосовують піротехнічні реле двосторонньої дії (РП-8). Реле вводять у вибухову мережу шляхом зрощування наявних у них відрізків ДШ із

## **Розділ І. Класифікація, призначення і технічні вимоги**

---

магістральною лінією ДШ. Воно може передавати детонацію у два протилежні боки двом зарядам ВР. Це реле використовують при дублюванні і кільцюванні вибухових мереж, для підвищення надійності проведення вибухів великих серій зарядів при масовій відбійці гірських порід у кар'єрах.

До інших засобів передачі детонації від КД і ЕД до зарядів ПВР належать шашки із БВР, які одержали назву проміжних детонаторів. Виготовляють шашки із тротилу, рідше з його сплаву з гексогеном з каналом під ДШ (ТГ-500, Т-400М) або із гніздом під КД і ЕД (ТП-200, ТП-400). У практиці вибухових робіт ПД нерідко використовують амонітні патрони стандартних розмірів. Такі патрони, змонтовані разом із ДШ або із КД, часто називають бойовиками.

При вогневому та електровогневому способах висадження застосовують ВШ, що належать до допоміжних ЗІ. Існують чотири різновиди ВШ, що розрізняються, в основному, за водо- і морозостійкістю, яка обумовлюється конструкцією їхньої оболонки. Так, ВША має нитяну вологоізолюючу оплітку, відрізняється малою водостійкістю і зберігає еластичність за температури до  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Шнури ВШП і ВШЕ мають пластикову оболонку, висоководостійкі і еластичні за температури до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

ВШ ініціюють допоміжними засобами запалювання. До них належать запалювальний паперовий патрон ЗП-П для одночасного запалювання до 37 відрізків ВШ. Він приводиться в дію дистанційно за допомогою електрозапалювальної трубки або спеціального електрозапалювача (ЕЗ-ВШ) у паперовій або металевій оболонці. Для запалювання окремих відрізків ВШ застосовують тліючий гніт з бавовняної пряжі або більш зручну в роботі запалювальну свічку. Вона складається з паперової гільзи довжиною 170–200 мм і діаметром 10 мм, заповненої з одного кінця на  $2/3$  довжини горючим складом, а з іншого на довжину 50 мм інертним складом. На кінці палаючої частини є головка спеціального складу, що запалюється від терткової пластинки. Інертна частина трубки призначена для безпечного її тримання рукою. Горючий склад при згорянні дає три види полум'я: біле (протягом 5–10 с); червоне, від якого запалюють ВШ; зелене, що сигналізує про припинення горіння свічі.

### **Термогнійні засоби ініціювання**

Термогнійні ЗІ застосовують для висадження зарядів у нафтових і газових свердловинах, глибина яких сягає 3,5–6,0 км (а в перспективі планується до 15 км), температура  $120\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а тиск  $60\text{--}150\text{ МПа}$ . На

глибині 15 км можлива температура 280–350 °С, а тиск близько 250 МПа. У цих умовах ЗІ мають спрацьовувати безвідмовно, зберігати свою ініціюючу здатність і мимовільно не детонувати протягом тривалого часу (до 6 год.). Серед термостійких ЗІ виділяють:

- ТДК променевої дії та ТЕД миттєвої дії, що використовуються у вибухових патронах і підривачах за температури до 280 °С;

- КЗ і КД, які спрацьовують від уколу (КЗВ-11, КДН-13 та ін.), використовуються в пристроях ініціювання перфораторів і підривачах торпед, що використовують за температури до 200 °С до 6 діб;

- ЕЗ і піропатрони ППТ-230 для запалення металних сполук і приведення в дію стрілецьких систем за температури середовища до 270 і 230 °С відповідно;

- ДШТ-165, ДШТ-200 та ін. для герметичної апаратури при температурах середовища 150–200 °С і ПДЗ ТВ-150/800 та ін. для негерметичної апаратури, що працюють за температури до 150 °С і тиску до 80 МПа;

- вибухові патрони для герметичної апаратури за температур до 200 °С (ПВЗП-М і ПВЗП-Н) і для негерметичної апаратури корпусних кумулятивних перфораторів, що працюють за температури 100–350 °С і тиску 50–150 МПа (ПВГУ-5, ПГ-170, ПГН-150 та ін.). Як БВР у таких ЗІ використовують ТЕН, гексоген і октоген. Як ІВР поряд з азидом свинцю і деякими іншими індивідуальними з'єднаннями використовують більш термостійку композицію СВГр, що витримує температуру 290 °С.

### **1.3. Технічні вимоги до засобів ініціювання**

Загальними вимогами, що висуваються до ЗІ та їхніх елементів, є надійність і безпека експлуатації протягом установленого гарантійного терміну в умовах їхнього призначення. Ці вимоги для кожного виду ЗІ і його елементів конкретизуються, багато з них належать до нормативів якості, встановлені у відповідній технічній документації (Держстандарт, ТУ та ін.). Для заводів-виготовлювачів загальними вимогами до ЗІ є технологічність і безпека у виробництві.

Основні вимоги до ІВР і БВР, які використовуються у ЗІ:

- досить великий запас потенційної питомої теплової енергії та висока швидкість її виділення при детонації для одержання ініціюючого імпульсу необхідної потужності за мінімальної маси їхніх зарядів;

## Розділ І. Класифікація, призначення і технічні вимоги

---

---

- прийнятна чутливість до механічних і теплових впливів, гарна сипкість і спресованість для безпечного і продуктивного технологічного використання їх у виробках;
- фізико-хімічна стійкість при підвищеній вологості і температурах  $\pm 50$  °С в умовах експлуатації;
- припустима токсичність.

ІВР, крім того, мають мати гарну займистість від променя вогню запалювача.

Термостійкі ВР, як і ЗІ з них, крім того, не мають знижувати своїх вибухових характеристик після витримки протягом 6 год. за температури до 280 °С; мимовільна детонація при цьому не допускається.

Запалювальні, займисті та уповільнюючі піротехнічні сполуки мають бути чутливі до теплового імпульсу або енергії уколу жала джерела, що застосовується для їхнього ініціювання, не зволожуватися при зберіганні й не взаємодіяти з матеріалом містка накаливання і металом гільзи, згоряти при запалюванні з постійною швидкістю (особливо це стосується уповільнюючих сполук) і давати досить потужний промінь вогню для ініціювання наступного елемента ЗІ.

Наведемо також основні вимоги до КД:

- ініціююча здатність, достатня для їхнього призначення;
- безвідмовна детонація від первинного зовнішнього імпульсу (променя вогню ВШ для КД променевої дії; від уколу жала для КД накольної дії) протягом гарантійного терміну зберігання;
- стійкість до трясіння при транспортуванні.

По зовнішньому вигляду КД, як і всі інші ЗІ, мають відповідати їхньому еталонному зразку, виготовленому для приймально-здавальних випробувань серійних партій продукції.

Основні вимоги, що висуваються до ЕД нормальної чутливості до блукаючих струмів (ЕД-8, ЕД-У-Н, ЕДКЗ-ПКМ та ін.):

- надійно спрацьовувати в групах по 100 шт., що послідовно з'єднані від вибухових приладів, які забезпечують постійний імпульс не менше 3 мс  $A^2$ ;
- розкид за часом спрацьовування у ЕД миттєвої дії не більше  $\pm 2$  мс, у ЕД із уповільненням – не більше половини інтервалу уповільнення;
- імовірність безвідмовної роботи не менше 0,9998;
- не спрацьовувати від постійного струму 0,2 А при його впливі протягом 5 хв.;

## **Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин**

---

---

- мати при довжині вивідних проводів 2 м електричний опір у межах 1,8–3,0 Ом для жорсткого кріплення містка накалювання і 2,0–4,2 Ом для еластичного кріплення;
- за ініціюючою здатністю мають утворювати у свинцевій пластинці товщиною 5 мм отвір діаметром не менше власного діаметра;
- безвідмовно спрацьовувати після витримки у воді при тиску 2,0 МПа протягом 20 хв. або 0,02 МПа протягом 6 год.;
- витримувати трясіння у умовах, що імітують практичні умови транспортування, витримувати статичне і динамічне навантаження, що передбачене технічною документацією;
- зберігати свої експлуатаційні характеристики протягом гарантійного терміну зберігання.

Запобіжні ЕД, крім того, не мають запалювати метаноповітряну суміш, що містить  $(9\pm 1)$  % метану.

Вивідні проводи із пластиковою ізоляцією запобіжних ЕД мають бути мідними, інших ЕД – алюмомідними, з біметалу або міді. Гільзи запобіжних ЕД мають бути з біметалу, всіх інших ЕД – сталевими або з біметалу, допускаються також алюмінієві і пластмасові. До ЕД зниженої чутливості до сторонніх струмів висуваються додаткові вимоги.

Основні вимоги до ДШ:

- детонувати зі швидкістю не менше 6,0 км/с;
- мати задану чутливість та еластичність у всіх експлуатаційних умовах, що передбачені технічною документацією на даний виріб;
- міцність на розрив має бути не менша 490 Н;
- бути стійким до вібраційних і ударних навантажень.

Основні вимоги до ВШ:

- мати постійну швидкість горіння  $(10\pm 1)$  мм/с без загасання, даючи при цьому необхідний промінь вогню;
- бути морозо- і водостійкими відповідно до встановлених нормативів щодо умов застосування їх у роботі.

### **1.4. Класифікація систем і способів висадження зарядів промислових вибухових речовин**

Під системою висадження (СВ) розуміють сукупність певного виду ЗІ з відповідними допоміжними засобами, матеріалами і приладами для приведення їх у дію. Залежно від обраного способу

## Розділ І. Класифікація, призначення і технічні вимоги

---

висадження застосовані СВ можуть бути різними. У практиці вибухових робіт використовують такі способи висадження:

- вогневий за допомогою КД, з'єданого з відрізком ВШ, що підпалюється ґнотом або спеціальною свічею;
- електровогневий, коли відрізок або групу відрізків ВШ, з'єднаних зі своїми КД, підпалюють дистанційно електрозапалювачем ЕЗ-ВШ або трубкою ЕЗТ;
- електричний за допомогою ЕД миттєвої, уповільненої і короткоуповільненої дії, що приводиться у дію дистанційно підричним приладом через проводи;
- безкапсульний за допомогою ДШ, на одному кінці якого може бути ПД, а на іншому, поза зарядом, має бути КД або ЕД (безкапсульним цей спосіб названий у зв'язку з тим, що КД або ЕД не поміщають у заряд ВР, вони перебувають поза ним на безпечній відстані на початку підривної мережі).

Монтують вибухові мережі для різночасного (уповільненого або короткоуповільненого) висадження серії зарядів при подачі в них початкового імпульсу з одного пункту, віддаленого на безпечну відстань. Залежно від поставлених перед вибуховими роботами завдань електричні вибухові мережі бувають:

- послідовні, коли всі ЕД з'єднані між собою послідовно;
- паралельні, коли всі ЕД з'єднані між собою паралельно;
- змішані, коли ЕД у групах з'єднані між собою одним способом, а їхні групи – іншим.

У паралельній схемі можуть бути різновиди: паралельно-пучкова і паралельно-східчаста. Змішана схема також має свої різновиди: паралельно-послідовну або послідовно-паралельну.

Вибухові мережі із ДШ широко застосовують у кар'єрах, оскільки їх легше і безпечніше монтувати, хоча і неможливо перевірити на безперервність. Щоб уникнути в таких випадках відмов детонації, їх дублюють, для повної гарантії поміщаючи в заряд по два ПД. Для забезпечення короткоуповільненого висадження між окремими зарядами або їхніми групами використовують піротехнічні реле, що врізають у відповідних місцях мережі.

Практикують кілька схем почергового висадження зарядів при багаторядному розташуванні свердловин: діагональну, клинову і порядку. Кожна схема при вибуху забезпечує переміщення роздробленої породи в заданому напрямку. На підземних роботах у гірській промисловості переважає висадження шпуровими зарядами, які в рудних та інших шахтах ініціюють електричним або вогневим



способом, а у вугільних шахтах, небезпечних за газом і пилом – тільки електричним способом.

### 1.5. Характеристики вибухових речовин і піротехнічних сполук, що застосовуються у засобах ініціювання

#### Характеристики вибухових речовин

При виготовленні КД і ЕД як первинний заряд застосовують первинну ініціюючу ВР – гримучу ртуть або азид свинцю, що детонують від променя вогню запалювача, а як вторинний заряд – бризантну ВР (гексоген або ТЕН), які при детонації створюють необхідний ініціюючий імпульс. У звичайних КД, ЕД і ДШ використовують ТЕН та гексоген, а в термостійких ДШ поряд з гексогеном – октоген і деякі інші БВР, що витримують температуру 250–280 °С. Методом пресування виготовляють шашки ПД із тротилу, а методом лиття – зі сплаву тротилу з гексогеном. Для ВШ і деяких видів запалювачів використовують димний (чорний) порох, можливе застосування і піротехнічних сполук. Патрони-бойовики, що призначені для висадження зарядів гранульованих ВР у підземних умовах, виготовляють із амоніта 6 ЖВ (рідше амоналу).

Характеристики вибухових і фізико-хімічних властивостей ряду ВР.

**Тротил (тринітротолуол)  $C_6H_2CH_3(NO_2)_3$**  – малочутлива хімічно і термічно стабільна нітросполука, виробляється у вигляді лусочок з температурою плавлення не нижче 79 °С [15]. Лусочки мають світло-жовтий колір і буріють на світлі. Застосовується для виготовлення вторинних ЗІ – пресованих шашок масою не менше 200 г із гніздом під КД або каналом під ДШ, призначених як ПД. Литі шашки тротилу відрізняються високою водостійкістю, але вони не чутливі до КД і ДШ, тому не знайшли застосування. Тротил не придатний для серцевини ДШ і вторинного заряду КД, оскільки його критичний діаметр детонації більше діаметра цієї серцевини. Крім того, він детонує з меншою швидкістю, ніж, наприклад, тетрил і, отже, у таких зарядах малої маси дає менший ініціюючий імпульс. Тротил практично не розчинний у воді, але добре розчиняється в толуолі й ацетоні, небагато в мінеральному маслі, що, як і вода, може трохи флегматизувати при усмоктуванні його шашками, які занурюють у заряди мастиломістких гранулітів. Для запобігання цього шашки зовні гідроізольують [1].

**Гексоген (циклотриметілентринітроамін)  $(\text{CH}_2)_3\text{N}_3(\text{NO}_2)_3$**  – кристалічний білий порошок з насипною щільністю близько  $1,1 \text{ г/см}^3$ . Спресованість і щільність підвищуються при додаванні до 6 % флегматизатора (парафін або церезин). Хімічно і термічно стабільний, тривалий час витримує високу ( $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ) температуру. Має малий критичний діаметр детонації, тому використовується не тільки як вторинний заряд у КД, але і для виготовлення ДШ, у тому числі і термостійких (з порогом термостійкості  $165 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Гексоген – високопотужна ВР із порівняно високою чутливістю до механічних впливів [4, 10, 11, 15].

**Октоген (циклотетраметілентетранітроамін)  $(\text{CH}_2)_4\text{N}_4(\text{NO}_2)_4$**  – високоплавка біла кристалічна речовина з насипною щільністю  $1,12 \text{ г/см}^3$  [9]. Відрізняється від гексогену значно більш високою температурою плавлення і кращою термостабільністю. Витримує тривале нагрівання за високих температур ( $210\text{--}220 \text{ }^\circ\text{C}$ ), виявляє ознаки розкладання тільки за температури плавлення. Має більш високі термохімічні і детонаційні характеристики, порівняно з гексогеном. Чутливість до механічних впливів приблизно на рівні чутливості гексогену. Завдяки високій термостабільності застосовується винятково в термостійких ЕД, КД і ДШ, що виготовляють для проведення геофізичних робіт у нафтовій та газовій промисловості.

**ТЕН (тетранітропентаеритрит)  $\text{C}(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4$**  – біла кристалічна речовина з насипною щільністю близько  $1,0 \text{ г/см}^3$ . Належить до класу нітроефірів, але хімічно більш стійкий за нітрогліцерин і не вимагає при зберіганні постійного контролю за стійкістю. Зі всіх розглянутих ВР він має більшу потужність, але в нефлегматизованому стані дуже чутливий до механічних впливів. Характеризується порівняно невисоким порогом термостійкості. Починає розкладатися за температури плавлення [11, 15]. ТЕН застосовується у вигляді вторинного заряду у звичайних КД, ЕД, а також як серцевина у звичайних (нетермостійких) ДШ.

**Гримуча ртуть (фульminat ртуті)  $\text{Hg}(\text{ONC})_2$**  – ртутна сіль гримучої кислоти [4]. Як і азид свинцю, не містить у своїй молекулі нітрогруп на противагу хімічно індивідуальним БВР. Являє собою дрібнокристалічний порошок білих кольорів із шовковистим блиском і насипною щільністю  $1,22 \text{ г/см}^3$ . Добре пресується при відносно невисокому питомому тиску ( $25\text{--}30 \text{ МПа}$ ). Щільність запресовування в чашечку в межах  $3\text{--}4 \text{ г/см}^3$ . При більш високій щільності і зволоженні ініціююча здатність знижується, можливі відмови детонації. За

потужністю, а отже і ініціюючою здатністю, гримуча ртуть трохи поступається азиду свинцю. Через це, а також через сильне зниження здатності до детонації при зволоженні (подовжується період розгону переходу горіння в детонацію) при виготовленні ЕД і КД беруть гримучу ртуть більшої маси (зазвичай 0,35 г), ніж азиду свинцю. При 10 % вологи вона згоряє на відкритому повітрі без детонації, а при 30 % не запалюється від променя вогню ВШ. Флегматизують гримучу ртуть (крім води) парафіном і мастилом, які додають до неї прес-інструментом.

Гримуча ртуть за температури 20–25 °С – хімічно досить стійка суміш, при нормальній вологості повітря в чистому вигляді вона практично не гігроскопічна. З підвищенням температури починається її розкладання, яке особливо помітно по досягненні температури 90–95 °С, – вона перетворюється в коричневий порошок. При швидкому нагріванні до 150–175 °С відбувається вибух.

У сухому стані гримуча ртуть не реагує з металами. При наявності вологи вона взаємодіє з міддю, в результаті чого утворюється фульminat міді, досить чутливий до тертя. Особливо сильно гримуча ртуть взаємодіє з алюмінієм, у результаті чого утворюється невибухова об'ємиста пориста маса. Тому при спорядженні капсулів припустима вологість не має перевищувати 0,03 %; чашечку, в яку запресовують гримучу ртуть, лакують, а ЗІ зберігають у сухих складах. Чутливість до удару і тертя гримучої ртуті, як і азиду свинцю, дуже висока. Вона краще, ніж азид свинцю, запалюється від полум'я ВШ і не вимагає проміжного заряду іншої ІВР.

**Азид свинцю  $Pb(N_3)_2$**  – свинцева сіль азотисто-водневої кислоти [5]. Не містить у своїй молекулі кисню. Являє собою дрібнокристалічний порошок білого кольору, що на світлі згодом жовтіє. Не гігроскопічний, у холодній воді не розчиняється, у гарячій – незначно. У вологому середовищі здатний взаємодіяти з міддю та її сплавами з утворенням азиду окисної міді, надзвичайно чутливого до механічних впливів. Сухий азид свинцю не взаємодіє з нержавіючою сталлю, алюмінієм, міддю та їхніми сплавами (латунь, мельхіор); вологий – не взаємодіє з алюмінієм, тому при виготовленні КД і ЕД його споряджають у чашечку з алюмінію та поміщають у сталеву або алюмінієву гільзу. За ініціюючою здатністю азид свинцю перевершує гримучу ртуть, оскільки його термохімічні характеристики і щільність запресовування трохи вищі. При виготовленні КД і ЕД його використовують як первинний заряд з масою у 2,5 рази менше, ніж у гримучої ртуті. На відміну від гримучої ртуті, азид свинцю не боїться

перепресування і перезволоження, добре детонує у воді, але він менш чутливий до променя вогню.

**ТНРС (тринітрозорцинат свинцю)  $C_6H(NO_2)_3O_3Pb \cdot H_2O$**  – ртутна сіль стифнінової кислоти (стифнат свинцю) [4, 16].

Щільність кристалів  $3,1 \text{ г/см}^3$ , температура спалаху  $270 \text{ }^\circ\text{C}$ , теплота вибуху  $1,74 \text{ МДж/кг}$ , об'єм газів  $270 \text{ л/кг}$ , швидкість детонації  $4,8 \text{ км/с}$ . Його ініціююча здатність нижча, ніж в азиду свинцю і гримучої ртуті. У малих масах, які зазвичай необхідні при виготовленні ЗІ, він не здатний викликати детонацію БВР (для цього його потрібно не менше  $1,5\text{--}2 \text{ г}$ ), тому він не застосовується як самостійна ІВР. ТНРС – досить стійка малогігроскопічна і погано розчинна у воді ІВР, не вступає в хімічну взаємодію з металами. Його можна споряджати в алюмінієві, сталеві і латунні чашечки. Чутливість до удару в нього у 6 разів нижча, ніж у гримучої ртуті, і в 2 рази нижча, ніж в азиду свинцю. Застосовується як допоміжна ІВР для запалення азиду свинцю в КД.

**Амоніт 6 ЖВ** – порошкоподібна вибухова суміш водостійкої аміачної селітри марки ЖВ із тротилом [14]. Випускається в більших кількостях для вибухових робіт у патронах діаметром 32, 60 і 90 мм і масою відповідно 2, 1,5 і 3 кг у паперовій вологоізольованій або поліетиленовій оболонці. Застосовується не тільки на відкритих роботах, але особливо широко на рудниках і вугільних шахтах, безпечних за газом і пилом. Патрони амоніта мають щільність  $1,0\text{--}1,2 \text{ г/см}^3$  і добре детонують від КД, ЕД і ДШ, в якого навішування серцевини не менше  $12 \text{ г ТЕНу}$  на  $1 \text{ м}$  (погонний) шнура. Ця його властивість, як і висока вологостійкість, дали можливість використовувати його при виготовленні патронів-бойовиків. При вогневому або електричному висадженні КД із відрізком ВШ або ЕД розміщують у торці патрона-бойовика і вивідні кінці закріплюють шпагатом. При висадженні за допомогою ДШ одним його кінцем пронизують патрон, потім на нього накручують кілька витків ДШ і закріплюють.

**Димний порох** – це суміш калієвої селітри, деревного вугілля і сірки [15]. Селітра служить окислювачем, вугілля – паливом, а сірка – додатковим паливом і цементатором часток окислювача з паливом, що має кращу запалюючу здатність, ніж вугілля. Димним його називають через утворення при горінні великої кількості диму, що складається з оксиду і діоксиду вуглецю та сірки, твердого оксиду калію й не повністю згорілих порохових зерен. Його ще називають чорним порохом за сірувато-чорні кольори.

Промисловість випускає кілька марок димного пороху. Марка ДШП призначена для виготовлення ВШ; марки ДРП-2ПР і ДРП-3ПР використовують для виготовлення пресованих виробів, що застосовуються у засобах запалювання; марка ДВП (димний вибуховий порох) застосовується в якості ВР при видобутку блочного каменю.

Шнуровий порох ДШП складається з 77 % калієвої селітри, 12 % сірки і 11 % вугілля. Всі інші марки пороху містять ці компоненти в кількості 75, 10 і 15 % відповідно. При їхньому виробництві використовують високоякісні сорти калієвої селітри без домішок нітратів кальцію та магнію, вугілля переважно липове і вільхове, сірку газова і природнокомкова.

Розміри зерен у масі пороху в межах 0,25–0,9 мм. Щільність зерен пороху марки ДШП 1,82–1,91 г/см<sup>3</sup>, ДВП 1,6–1,77 г/см<sup>3</sup>, ДРП-ПР 1,82–1,88 г/см<sup>3</sup>. Насипна щільність пороху всіх цих марок 0,96–1,1 г/см<sup>3</sup>.

Димний порох малогіроскопічний. За 6 год. в атмосфері з 100 %-ою вологістю за встановленим для нього нормативом він не має поглинати більше 1,5 % вологи. При тривалому зберіганні (гарантійний термін 2 роки) він не має зволожуватись, тому, щоб уникнути відмов горіння, порох пакують у герметичну металеву тару і зберігають у сухому приміщенні (складі). Допускається пакування у прогумовані мішки із щільної тканини ємністю по 50 кг із подальшим укладанням у дерев'яні ящики. Важливим параметром пороху, який розміщують у ВШ, є швидкість його згорання; відрізок цього шнура довжиною 600 мм згорає за 62–68 с.

Залежно від способу ініціювання порох може горіти або детонувати. При підпалюванні заряду пороху в шпурі і свердловині променем вогню відбувається вибухове горіння зі швидкістю близько 400 м/с, при ініціюванні через ПД він детонує зі швидкістю 2–3 км/с. Теплота його вибухового розкладання 2,31 МДж/кг. Димний порох більш небезпечний в експлуатаванні, ніж бризантні промислові ВР. За ступенем небезпеки при зберіганні і перевезенні в умовах споживачів він, як і ВШ, належить до класу 1, підкласу 1.1, група сумісності Д згідно з "Єдиними правилами безпеки при вибухових роботах" (ЄПБ при ВР).

Димний порох має порівняно високу температуру спалаху (310–315 °С), проте він дуже чутливий до полум'я і тертя. Навіть від іскри здатні запалитися його пилоподібні частки і викликати вибух всієї маси. При терті встаткування та інших предметів, заплених порохом, можливо його запалення. Висока чутливість димного пороху до

## Розділ І. Класифікація, призначення і технічні вимоги

---

---

теплових і механічних впливів неодноразово призводила до передчасних його вибухів і загоряння, тому при роботі потрібна підвищена обережність.

### Характеристики піротехнічних сполук

Піротехнічні сполуки (ПС), які використовуються в засобах ініціювання, являють собою механічні суміші декількох, здебільшого твердих, тонко здрібнених і однорідно змішаних компонентів, які поділяються на окислювачі, горючі, цементатори та ін. Чим більше здрібнені й однорідніше змішані компоненти ПС, тим легше і швидше відбувається їхнє запалення і горіння з необхідною швидкістю. Швидкість запалення і тривалість горіння виробів із ПС регулюють ущільненням одержаної суміші.

У промислових ЗІ застосовують запалювальні, займисті, уповільнюючі, накольні і ударні ПС. Рецептури деяких з них мають наступний процентний склад [4].

#### 1. Запалювальна сполука марки $\text{Cr47U50C}\times 3$ для ЕД:

- роданистий свинець – 47 %;
- хлорат калію – 50 %;
- хромат свинцю – 3 %.

Основні характеристики: максимальна розрахункова щільність 2920  $\text{кг/м}^3$ , температура запалення 508 К, температура горіння 1893 К.

#### 2. Уповільнююча сполука марки $\text{Cr15Cc85K}$ для ЕД:

- кремній – 15 %;
- сурик свинцевий – 85 %;
- колоксилін, понад 100 % – 0,4 %.

Максимальна розрахункова щільність 6340  $\text{кг/м}^3$ , температура запалення 750 К, температура горіння 1920 К.

#### 3. Уповільнююча сполука марки $\text{Cr45Cc55K}$ :

- кремній – 45 %;
- сурик свинцевий – 55 %;
- колоксилін, понад 100 % – 0,4 %.

Максимальна розрахункова щільність 3940  $\text{кг/м}^3$ , температура запалення 765 К, температура горіння 1640 К.

#### 4. Уповільнююча сполука марки $\text{Cr12Mo88K}$ :

- кремній – 12 %;
- оксид міді – 88 %;
- колоксилін, понад 100 % – 0,4 %.

Максимальна розрахункова щільність 5290  $\text{кг/м}^3$ , температура запалення 970 К, температура горіння 2470 К.

Запалювальна сполука призначена для запалення займистого ПС, на поверхню головки якого його наносять при виготовленні ЕД та інших ЗІ. Основна вимога до запалювальної сполуки – висока чутливість до променя вогню. Обидва ці сполуки мають створювати необхідне полум'я для запалення стовпчика (запресовування) уповільнюючої сполуки і горіти з рівномірною швидкістю.

Уповільнюючі сполуки у вигляді стовпчиків відповідних розмірів і щільності використовують як піротехнічні уповільнювачі в ЗІ. Важлива характеристика уповільнювача – постійна швидкість його горіння в заданих межах. Це досягається дотриманням ступеня здрібнювання, якості змішування компонентів ЗІ, однорідності запресовувань, величини їхньої маси, щільності і висоти. Важливу роль в одержанні якісних уповільнювачів виконує цементатор – колоксилін. Він забезпечує пластичність пресованого гранульованого порошку ПС, збільшує щільність і міцність одержуваних запресовувань, одночасно є легкогорючим компонентом, полегшуючи запалення від запалювальної або займистої сполуки.

Процес горіння ПС містить три стадії: запалювання, запалення і горіння. Запалювання зазвичай здійснюють за допомогою теплового імпульсу (промінь вогню ВШ, електрозапалювач), який діє на обмежену ділянку. Запаленням називають поширення горіння по всій поверхні виробу із ПС. Горінням є поширення горіння вглиб ПС.

З ростом щільності запресовування уповільнювача сутужніше і повільніше відбувається запалення, знижується швидкість горіння. На ці процеси негативно впливає і зростання зовнішнього тиску.

## Розділ II КАПСУЛІ-ДЕТОНАТОРИ ТА ЕЛЕКТРОДЕТОНАТОРИ

### 2.1. Капсулі-детонатори

Капсулі-детонатори призначені для ініціювання початку детонації зарядів ВР у процесі проведення промислових вибухових робіт за температури навколишнього середовища від  $-60$  до  $+45$  °С. Вони являють собою пристрій, який складається з металевої гільзи, в якій з одного боку розміщений комбінований заряд з ІВР і БВР, а інша її бік служить для розміщення відрізка ВШ на місці виробництва вибухових робіт [13, 19]. Нині випускають капсулі-детонатори КД-8С (рис. 2.1).

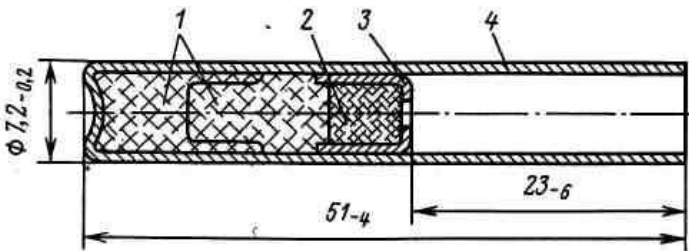


Рис. 2.1. Капсуль-детонатор КД-8С;  
1 – БВР; 2 – ІВР; 3 – чашечка; 4 – гільза

Капсулі-детонатори широко застосовують на вибухових роботах, які проводяться вогневым способом за допомогою ВШ. Не використовують їх лише в шахтах, небезпечних за газом і пилом, де такий спосіб висадження заборонений. При ініціюванні КД променем вогню ВШ вони вибухають та ініціюють заряди ВР практично миттєво. Для висадження серії зарядів вогневым способом використовують займісті патрони, за допомогою яких одночасно запалюють до 36 кінців ВШ, розміщених у зарядах ВР. Для різночасного висадження зарядів у певній послідовності використовують кінці ВШ різної довжини.

КД-8С застосовують у сухому і мокрому гірських масивах, крім того, його використовують також при виготовленні багатьох типів електродетонаторів. Матеріали, які використовуються для виготовлення КД-8С, наведені в табл. 2.1.



## Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин

Таблиця 2.1

**Матеріали, що застосовуються для виготовлення КД-8С**

Вибухові речовини	Матеріал гільзи	
	сталь	біметал
ІВР, г		
grimуча суміш	0,35±0,05	–
азид свинцю	–	0,15±0,03
БВР (гексоген), г		
основний заряд	0,65±0,05	0,65±0,05
додатковий заряд	0,35±0,05	0,35±0,05

Всім КД (в Україні і за кордоном) з масою вторинного заряду 1 г умовно надано номер 8 (КД-8). Заряд БВР запресовують безпосередньо в гільзу, а заряд ІВР попередньо поміщають у чашечку. Номінальні розміри гільз КД-8С і чашечки наведені нижче.

Розмір гільзи, мм:

діаметр зовнішній..... 7,2  
 діаметр внутрішній..... 6,4  
 довжина ..... 47–51  
 відстань від дульця до чашечки ..... 23

Розмір чашечки, мм:

діаметр отвору ..... 2  
 висота ..... 8

Довжина гільз за замовленням споживача може бути збільшена до 70–80 мм, при цьому відповідно збільшується і відстань від краю їх дульця до чашечки з ІВР. Металева гільза має ввігнуте дно у формі півсфери з метою посилення спрямованої уздовж осі кумулятивної дії КД. Товщина стінок гільзи 0,4–0,5 мм.

Кумулятивну кінчну виїмку створюють безпосередньо в заряді БВР при його запресовуванні. Чашечку для заряду із гримучої ртуті виготовляють із тонколистового (0,3–0,5 мм) біметалу, сталі або латуні.

Нормативно-технічні якісні показники КД:

- за зовнішнім виглядом і якістю виконання мають відповідати еталонним зразкам, вільно проходити через каліброване кільце;
- витримувати трясіння протягом 10 хв. при 60 ударах дошки приладу, що падає з висоти 150 мм, без порушення при цьому своєї конструкції (зрушення і випадання чашечки, висипання ВР) і передчасного вибуху;

## Розділ II. Капсулі-детонатори та електродетонатори

---

– безвідмовно детонувати від променя вогню ВШ і пробивати при цьому торцем свинцеву пластину товщиною 5 мм, утворюючи отвір діаметром, не меншим за діаметр своєї гільзи, що служить показником їх ініціюючої спроможності;

– гарантійний термін зберігання КД-8С становить 2 роки.

Надійність висадження КД має бути не менша за 0,99985 при довірчій імовірності 0,95. Надійність підтверджується підприємством-виготовлювачем щорічно за результатами приймально-здавальних випробувань випущених партій КД. Показники надійності оцінюються за такими формулами:

$$P_0 = 1 - \frac{m}{n}; \quad \sigma_{P_0} = \sqrt{\frac{P(1-P_0)}{n}}; \quad (2.1)$$

$$P_{0j} = 1 - 1,64\sigma_{P_0}, \quad (2.2)$$

де  $p_0$  – імовірність безвідмовного спрацьовування;

$\sigma_{P_0}$  – середнє квадратичне відхилення величини  $p_0$ ;

$m$  – кількість неповних детонацій;

$n$  – загальна кількість випробуваних КД;

$P_0$  – нижнє значення ймовірності безвідмовного спрацьовування.

Якщо  $m = 0$ , то можна користуватися формулою:

$$P_0 = \sqrt[3]{1 - 0,95}. \quad (2.3)$$

За цими ж формулами оцінюють надійність ЕД та інших ЗІ.

При пакуванні КД укладають у картонні коробки вертикально денцем униз у кількості від 100 до 120 шт. Картонні коробки потім поміщають по 50 шт. у металеві коробки, які, в свою чергу, укладають по 1 шт. у дощаті ящики або ящики із деревоволокнистих плит. У кожену коробку вкладають товарний ярлик із зазначеному ньому: маркою, кількістю КД та інших необхідних даних, а також інструкцію з експлуатації. За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місця робіт, використання тощо) КД належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності В згідно з "Єдиними правилами безпеки при вибухових роботах". Зберігати і перевозити КД необхідно окремо від ВМ інших груп. За умовами застосування КД-8С належать до класу 3, група 2.

## 2.2. Термостійкі капсулі-детонатори і капсулі-запалювачі

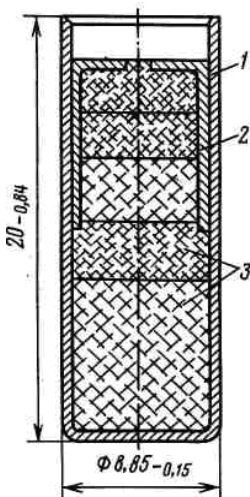
Крім КД-8С, для яких неприпустиме тривале знаходження в середовищі з високими температурами, випускаються термостійкі КД променевої дії (марки ТКД-3-200 і ТКД-6-270) для робіт, які проводяться у середовищах з температурою вище за 100 °С, наприклад, при прострілочно-вибухових роботах у нафтових свердловинах (рис. 2.2). Їх використовують для спорядження підривачів і вузлів передачі детонації.

ТКД-3-200 має діаметр гільзи 9 мм, довжину 18 мм і поріг термостійкості 200 °С. ІВР у ньому служить азид свинцю, який витримує при експлуатації температуру до 250 °С, а як БВР – октоген. ТКД-6-270 має діаметр гільзи 9 мм і довжину 35 мм. Споряджений азидом кадмію з добавкою термостійкої займистої сполуки і високотермостійкої ВР. Цей капсуль-детонатор витримує температуру до 280 °С протягом 6 год. Технологія виготовлення ТКД аналогічна до технології виготовлення звичайних КД, що дозволяє використати типове обладнання та інструменти.

ТКД має ініціюючу здатність, яка забезпечує пробиття свинцевої пластинки товщиною 5 мм після витримки при таких температурах: ТКД-3-200 до 195±5 °С протягом 6 год.; ТКД-6-270 до 270±10 °С протягом 6 год.. Вони витримують випробування на трясіння, як і КД-8.

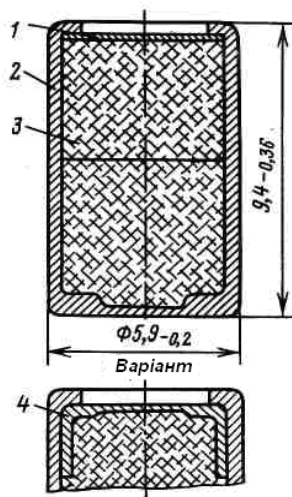
ТКД-3-200 укладають по 35 шт., а ТКД-6-270 – по 51 шт. у картонні коробки, які поміщають у металеві коробки: їх, у свою чергу, укладають у дерев'яні ящики. Гарантійний термін зберігання ТКД – 5 років з дати виготовлення.

Для підривачів уповільненої дії, порохових генераторів тиску, що застосовуються у газових і нафтових свердловинах, де температура досягає 200 °С, виготовляють капсулі-запалювачі накольної дії марки КВ-Н-11 (рис. 2.3). У них відсутні заряди ІВР і БВР. Необхідний запалювальний імпульс вони створюють від ПС марки АПК при впливі накольної сполуки. Останній безвідмовно спрацьовує від уколу жала з енергією до 0,274 Дж. КЗ-Н-11 має діаметр 6 мм, висоту 9 мм, термостійкість 160 °С протягом 6 діб. Він створює запалювальний імпульс у каналі діаметром 3 мм на відстані 100 мм, чого досить для забезпечення запалення ТКД-3-200.



**Рис. 2.2. Капсуль-детонатор  
ТКД-3-200 та ТКД-6-270:**

1 – ковпачок; 2 – чашечка споряджена;  
3 – БВР



**Рис. 2.3. Капсуль-запалювач  
КЗ-Н-11:**

1 – кружок; 2 – ковпачок; 3 – сполука  
запалювальна; 4 – чашечка

КВ-Н-11 порівняно безпечні в експлуатації. Вони не спрацьовують при випадковому уколі жалом з енергією 0,0049 Дж. Відповідно до технічних вимог ці капсулі мають безвідмовно спрацьовувати від уколу жалом з енергією не більше 0,147 Дж після витримки 144 год. за температури  $150 \pm 5$  °С.

Упаковують КВ-Н-11 по 100 шт. у картонні коробки із решітчастими вкладишами, коробки вкладають у металеві банки, а останні – у дерев'яні ящики. Гарантійний термін зберігання 3 роки.

Для ініціювання детонації зарядів БВР в апаратах, що спускають у свердловину, на трубах є термостійкі капсулі-детонатори марки КД-Н-13 накольної дії. Їхні параметри: діаметр 10 мм, висота 21 мм, термостійкість 200 °С протягом 6 діб. Гарантійний термін зберігання 2 роки. Вони безвідмовно детонують від уколу жалом на їхній накольна сполука з енергією 0,196–0,274 Дж. За своєю ініціюючою здатністю пробивають отвір, рівний власному діаметру, у свинцевій пластинці товщиною 6 мм після витримки їх за температури  $195 \pm 5$  °С протягом 144 год. За ступенем небезпеки при роботі з ними ТКД, КЗ-Н і КД-Н належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності В. За умовами застосування ТКД, КЗ-Н і КД-Н належать до класу 3, група 3.

### 2.3. Електродетонатори миттєвої дії

Електродетонатори миттєвої дії спрацьовують протягом 2–6 мс, тобто практично миттєво. Вони призначені для електричного способу висадження одиночних або для одночасного висадження групових зарядів ВР переважно в шахтах, але тільки безпечних за газом і пилом, у сухих і обводнених забоях. Через підвищену небезпеку їх рідше застосовують при груповому висадженні на відкритих розробках.

ЕД складаються із КД-8С та електрозапалювача. Виготовляють такі марки:

- ЕД-8Е з еластично закріпленим містком накаливання (рис. 2.4, а);
- ЕД-8Ж з жорстко закріпленим містком накаливання (рис. 2.4, б);
- ЕДС-1 підвищеної водостійкості з жорстко закріпленим містком накаливання.

Місток накаливання розташований у запалювальній головці електрозапалювача. Його виготовляють із тугоплавкого металу ніхрому (сплав: Ni 80 % і Cr 20 %), що має більший питомий електричний опір. Місток призначений для запалювання запалювальної сполуки, який знаходиться на його поверхні.

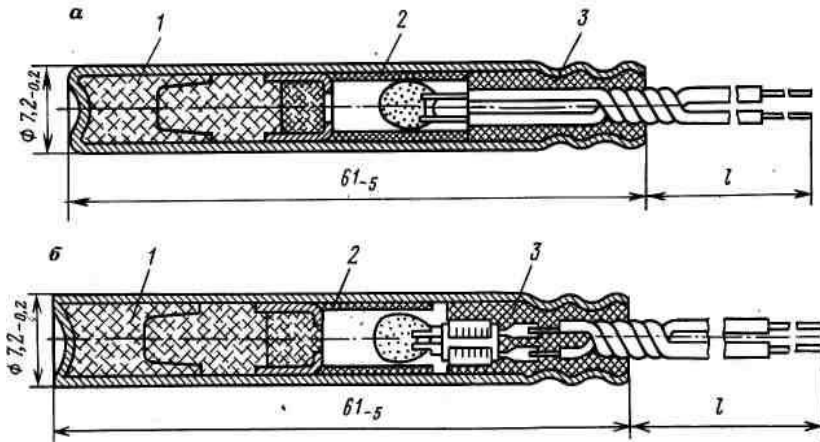


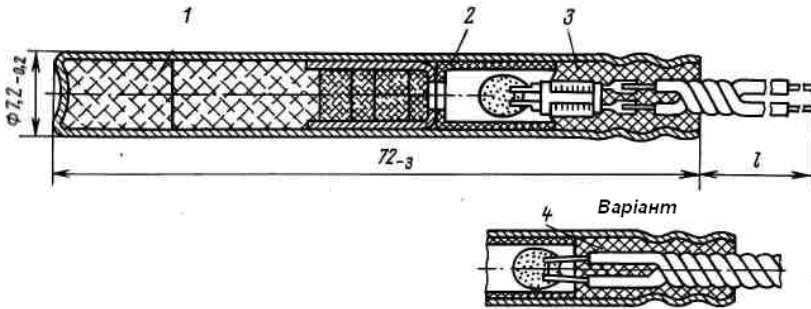
Рис. 2.4. Електродетонатори миттєвої дії ЕД-8Е (а) і ЕД-8Ж (б):

1 – капсуль-детонатор КД8-3; 2 – екран; 3 – електрозапалювач

## Розділ II. Капсулі-детонатори та електродетонатори

Запалювальна сполука головки запалює займисту сполуку, що, у свою чергу, підпалює створеним потужнішим і тривалим форсом вогню заряд ІВР, горіння якої швидко переходить у детонацію та ініціює основний заряд БВР. Такий механізм передбачений в ЕД-8Е і ЕД-8Ж. У сейсмічному ЕДС-1 запалювальна сполука має досить потужний тепловий імпульс, щоб викликати запалення заряду ІВР із наступною детонацією заряду ЕД без проміжної, займистої сполуки.

ЕД-8Е і ЕД-8Ж можуть також застосовуватися разом з ЕД-У-Н (рис. 2.5) як нульовий щабель уповільнення при короткоуповільненому висадженні групових зарядів. ЕДС-1 застосовують для сейсморозвідки, яку проводять підвнимним способом в обводнених місцях.



**Рис. 2.5. Електродетонатор ЕД-У-Н:**

1 – капсуль-детонатор із уповільненням; 2 – екран; 3 – пластиковий корок;  
4 – електрозапалювач

Електродетонатори мають кінцеві проводи з мідної жилки такої номінальної довжини: ЕД-8 – 2000, 2500, 3000, 4000 мм; ЕДС-1 – 1000 і 2500 мм.

*Нормативно-технічні показники ЕД.* Електричний опір постійному струму ЕД, залежно від матеріалу і довжини проводів має відповідати показникам, наведеним у табл. 2.2, де дані також інші їхні нормативні параметри. Блукаючий опір (переривчастий ланцюг) не допускається.

Електродетонатори мають зберігати свій електричний опір при випробуванні на стійкість до трясіння стандартним методом (60 падінь із висоти 150 мм протягом 10 хв.) і витримувати випробування на водостійкість протягом 3 год. у воді під тиском  $1,96 \cdot 10^4$  Па (ЕД-8) та  $4,9 \cdot 10^5$  Па (ЕДС-1), після чого пробивати у свинцевій пластині товщиною 5 мм отвір діаметром, не меншим за власний.

**Нормативно-технічні показники ЕД**

Тип ЕД	Довжина вивідних проводів, мм	Електричний опір, Ом	Безпечний струм, А	Безпечний імпульс запалення (не менше), мс·А <sup>2</sup>	Імпульс запалення (не більше), мс·А <sup>2</sup>	Час спрацьовування, мс	Тиск, 10 <sup>5</sup> Па
ЕД-8Е	2000–4350	2,0–4,2	0,2	0,6	2,0	2–6	0,2
ЕД-8Ж	2000–3250	1,8–3,0	0,2	0,6	2,0	2–6	0,2
	3500–4350	1,8–3,6	0,2	0,6	2,0	2–6	0,2
ЕДС-1	1000–1100	1,5–3,0	0,2	0,6	2,0	1–3	5
	2500–2700	1,8–3,3	0,2	0,6	2,0	1–3	5

Електродетонатори ЕД-8 і ЕД-У-Н мають безвідмовно спрацьовувати від постійного струму силою 1 А при груповому висадженні (при послідовному їхньому з'єднанні) по 20 шт., ЕДС-1 при одиночному підриванні мають спрацьовувати від струму силою 0,7 А.

При статичному навантаженні 2 кг на проводи електрозапалювач не має від'єднуватися від КД і висмикуватися із пластмасової пробки, а при прикладенні до проводів динамічного навантаження 3 кг ЕД-8 – не мають вибухати.

За статистичними даними приймально-здавальних випробувань, імовірність безвідмовної роботи ЕД-8 і ЕДС-1 має бути не менша 0,9998 при довірчій імовірності 0,95.

ЕД-8 і ЕДС-1 укладають рядами в картонні коробки по 5–10 шт. в кожному ряду. При цьому один ряд має бути покладений капсулями-детонаторами в один бік, а наступний – в інший. Залежно від довжини проводів у картонні коробки має бути покладено 30–70 шт. ЕД-8 і 50–80 шт. ЕДС-1. Картонні коробки з ЕД-8 і ЕДС-1 упаковують у металеві коробки. Металеві коробки укладають у дерев'яні ящики. Разом з партією, що містить до 50 тис. шт. ЕД-8, в окремих ящиках споживачеві висилається така ж кількість контактних затискачів для надійного зрощування кінців проводів при монтажі вибухового ланцюга. Зрощувані проводи очищують від ізоляції та скручують у два-три витки, вставляють у трубчастий затискач, який потім перегинають на 180°. Затискачі захищають оголені місця зрощування від вологи і блукаючих струмів. За ступенем небезпеки при роботі з ними (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт,

## Розділ II. Капсулі-детонатори та електродетонатори

---

використання і т. і.) ЕД належать до 1 класу, підклас 1.1, група сумісності В згідно з ЄПБ при ВР. Гарантійний термін зберігання 2 роки.

Як джерело струму для ЕД-8 і ЕДС-1 застосовують вибухові прилади конденсаторного типу. При висадженні ЕД у групах від вибухових приладів загальний опір електровибухової мережі не має перевищувати меж, зазначених у документації на вибухові прилади. Величина постійного струму для послідовного з'єднання ЕД до 100 шт. у групу має бути 1 А, при з'єднанні до 300 шт. у групу – 1,3 А; у випадку застосування перемінного струму – 2,5 А.

### 2.4. Електродетонатори короткоуповільненої та уповільненої дій

Електродетонатори уповільненої та короткоуповільненої дій ЕД-У-Н складаються із КД-8С, у ковпачок якого перед зарядом ІВР запресовано уповільнювальний ПС й електрозапалювач. Вони призначені для електричного висадження великих серій зарядів ВР у сухих і обводнених умовах на відкритих і підземних роботах, у тому числі у сланцевих шахтах, небезпечних за пилом, крім вугільних шахт, небезпечних за метаном і вугільним пилом.

При висадженні ці ЕД ініціюють заряди не одночасно, а в заданій послідовності, що забезпечує краще використання енергії ВР, поліпшує дроблення породи, підвищує безпеку робіт.

Випускають ЕД-У-Н (нова розробка, впроваджена у виробництво і експлуатацію замість КД-КУ і ЕД-УД; *рис. 2.5*) 23-х серій з номінальним часом з від 20 до 10 000 мс (*табл. 2.3*), що дозволяє збільшити кількість зарядів, що підривають, у групі і, відповідно, підвищити ефективність вибухових робіт. У всіх цих ЕД затримку здійснюють за допомогою піротехнічної сполуки, уповільнювача певної маси і щільності, що згоряє з постійною швидкістю і запалює заряд ІВР, що, у свою чергу, ініціює заряд БВР. Заданий час спрацьовування ЕД забезпечують підбором висоти і щільності стовпчика уповільнювача ПС або зміною його рецептури.

Номер серії ЕД-У-Н вказується на бирці, прикріпленої до проводів, а для розходження серій ЕД-У-Н офарблюють дно або дульце гільзи емаллю відповідних кольорів. ЕД-У-Н повністю замінили ЕД-КУ і ЕД-УД, оскільки за електричними та експлуатаційними характеристиками вони ідентичні останнім, але при цьому мають значно більшу кількість ступенів уповільнення.



## Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин

При короткоуповільненому висадженні серії зарядів із зазначеними ЕД можуть застосовуватися як нульова серія з електродетонаторів ЕД-8Э та ЕД-8Ж миттєвої дії.

Таблиця 2.3

### Технічні характеристики ЕД-У-Н

Номер серії	Номінальний час уповільнення, мс	Номер серії	Номінальний час уповільнення, мс
1	20	13	400
2	40	14	450
3	60	15	500
4	80	16	750
5	100	17	1000
6	125	18	1500
7	150	19	2000
8	175	20	4000
9	200	21	6000
10	250	22	8000
11	300	23	10 000
12	350		

ЕД короткоуповільненої та уповільненої дії виготовляють тільки із твердим кріпленням містка накалювання. Довжина гільзи ЕД-У-Н – 72–80 мм. Електричний опір, залежно від довжини вивідних проводів не має перевищувати меж, зазначених нижче:

Довжина проводів, м.....2,7 – 4,35

Електричний опір, Ом ..... 1,0–3,0 – 1,8–3,6.

Електрозапалювач має місток накалювання з вивідними проводами. На місток накалювання наносять два шари запалювальної суміші, внутрішній з яких містить легкозаймисту піротехнічну суміш, а зовнішній – суміш, яка згоряє із сильним форсом вогню. Вся запалювальна головка вкрита зовні тонкою плівкою нітролаку, що оберігає її від зволоження.

Крім наведених вище норм електричного опору, ЕД мають також відповідати наступним показникам:

- безпечна величина постійного струму, що не викликає запалювання ЕД протягом 5 хв., 0,2 А;
- безпечний імпульс запалювання не менше 0,6 мс А<sup>2</sup>;
- імпульс, що гарантує запалювання, не більше 2 мс А<sup>2</sup>;

## Розділ II. Капсулі-детонатори та електродетонатори

---

---

– час спрацьовування від постійного струму в 1 А має бути в припустимих межах (табл. 2.3);

– водостійкість – повне спрацьовування від постійного струму 1 А групами по 20 шт. ЕД, з'єднаних послідовно після витримки у воді протягом 3 год. під тиском  $1,96 \cdot 10^4$  Па;

– ініціююча здатність – ЕД мають пробивати у свинцевій пластині товщиною 5 мм отвір діаметром, не меншим за власний;

– витримувати випробування на стійкість до трясіння на стандартному приладі при 60 ударах його дошки з висоти 150 мм протягом 10 хв., а також не мають вибухати при додаванні до їх проводів динамічного навантаження – вантажу 3 кг, підвішеного до них і падаючого з висоти 0,5 м.

Імовірність спрацьовування цих ЕД, як і будь-яких інших такого типу, має бути 0,9998 при довірчій імовірності 0,95, за статистичними даними прийнятно-здавальних випробувань.

ЕД упаковують у картонні коробки по 20–60 шт. (залежно від довжини їхніх проводів), які вкладають у металеві коробки із щільними кришками і потім у ящики. У кожній коробці має бути товарний ярлик, а в кожному ящику – інструкція із застосування ЕД. Разом з партією, що містить 10–50 тис. шт. ЕД в окремих ящиках, як і при відправленні ЕД миттєвої дії, споживачеві посилають таку ж кількість контактних затискачів. ЕД-У-Н зберігають і транспортують, як і інші їхні типи, окремо від ВР. За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) ЕД-У-Н належать до 1 класу, підклас 1.1, група сумісності В згідно з ЄПБ. Гарантійний термін зберігання 2 роки.

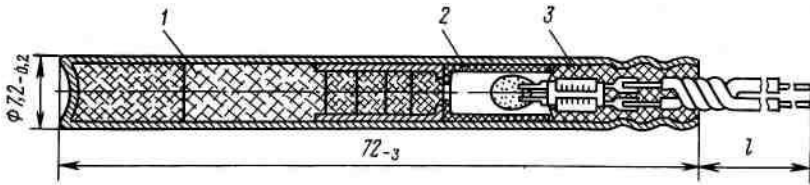
### **2.5. Електродетонатори уповільненої дії, що захищені від сторонніх струмів**

Істотним недоліком ЕД-8 і ЕД-У-Н, що збільшує небезпеку поводження з ними в роботі, є можливість передчасних вибухів від розрядів статичної електрики і випадкових блукаючих струмів у гірській породі від електросилових установок та інших джерел. У суху погоду незалежно від температури повітря на людях у вовняному або синтетичному одязі і гумовому взутті також можуть накопичуватися заряди статичної електрики достатньої величини, щоб при розряді викликати вибух звичайного незахищеного ЕД. Тому розроблені й останнім часом впроваджені електродетонатори типу ЕД-1-3-Т миттєвої та уповільненої дії, що захищені від цих небажаних

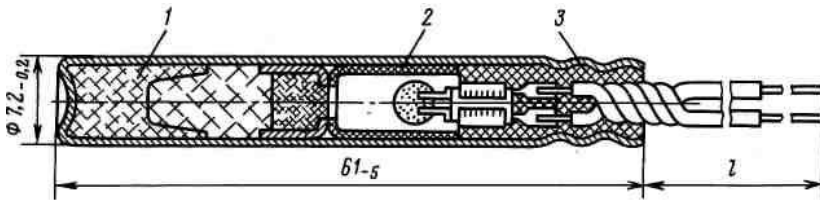
## Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин

впливів. Вони складаються із КД-8С та електрозапалювача, захищеного від блукаючих струмів і зарядів статичної електрики.

Випускаються дві марки таких ЕД: ЕД-1-У-Т (рис. 2.6) – 23 серії й ЕД-1-8-Т (рис. 2.7) миттєвої дії, які поставляються споживачеві комплектно, оскільки для нульового уповільнення звичайні незахищені ЕД миттєвої дії не придатні через небезпеку за статичною електрикою.



**Рис. 2.6.** Електродетонатор уповільненої дії ЕД-1-3-Т захищений:  
1 – капсуль-детонатор із уповільненням; 2 – екран; 3 – електрозапалювач



**Рис. 2.7.** Електродетонатор миттєвої дії ЕД-1-8-Т захищений:  
1 – капсуль-детонатор КД-8С; 2 – екран; 3 – електрозапалювач

Захист від сторонніх струмів забезпечується антистатичним покриттям головки запалювача. ЕД-1-3-Т кожної серії, крім нульових, на гільзі має відмітне фарбування нітролаком. У табл. 2.4 зазначено номери серій ЕД, час уповільнення із припустимими межами через певні інтервали при ініціюванні ЕД струмом 5 А.

Таблиця 2.4

### Технічні характеристики ЕД-1-У-Т

Номер серії	Час уповільнення, мс		Фарбування гільзи
	номінальне	припустимі межі	
1	20	18–32	Чорне <sup>1</sup>
2	40	38–52	Червоне
3	60	53–67	Сіре

## Розділ II. Капсулі-детонатори та електродетонатори

Закінчення табл. 2.4

Номер серії	Час уповільнення, мс		Фарбування гільзи
	номінальне	припустимі межі	
4	80	68–87	Зелена
5	100	88–112	Коричневе
6	125	113–137	Жовте
7	150	138–162	Біла
8	175	163–187	Сине
9	200	188–212	Фіолетове
10	250	226–274	Чорне <sup>2</sup>
11	300	276–324	Червоне
12	350	326–374	Сіре
13	400	376–424	Зелене
14	450	426–474	Коричневе
15	500	476–548	Жовте
16	750	552–648	Біле
17	1000	652–748	Сине
18	1500	752–848	Захисне
19	2000	852–948	Чорне <sup>3</sup>
20	4000	952–1048	Червоне
21	6000	1300–1700	Сіре
22	8000	1720–2280	Зелене
23	10 000	3500–4500	Коричневе

Примітки:

<sup>1</sup> Фарбування дна гільзи.

<sup>2</sup> Фарбування дульця на висоту (15–20 мм).

<sup>3</sup> Фарбування середини гільзи (5–10 мм).

Час спрацьовування ЕД-1-8-Т від постійного струму 5 А має бути в межах 3–8 мс. Довжина вивідних проводів ЕД може бути 2,7 і 4,35 м.

Нормативно-технічні показники якості ЕД-1-3-Т і ЕД-1-8-Т:

– електричний опір ЕД1, залежно від довжини проводів у межах 0,5–1,1 Ом;

– безпечний струм 0,92 А протягом 5 хв. впливу;

– тривалий запалювальний струм 1,02 А;

– не мають спрацьовувати при впливі зарядів статичної електрики, що створюються розрядом конденсатора ємністю 500 пФ, зарядженого до 10 кВ, при подачі його на гільзу ЕД і замкнуті

накоротко проводи, на гільзу і по черзі на кожний із проводів й, нарешті, тільки на вихідні проводи;

– безпечний імпульс струму не менше  $40 \text{ мс} \cdot \text{А}^2$ , імпульс запалення – не більше  $88 \text{ мс} \cdot \text{А}^2$ ;

– ініціююча здатність – діаметр отвору, що пробивається у свинцевій пластині товщиною 5 мм має бути не меншим за діаметр ЕД;

– водостійкість – повне спрацювання серії з 20 ЕД від струму 5 А після витримки у воді на глибині 2 м протягом 30 хв.;

– гарантійний термін зберігання 2,5 роки.

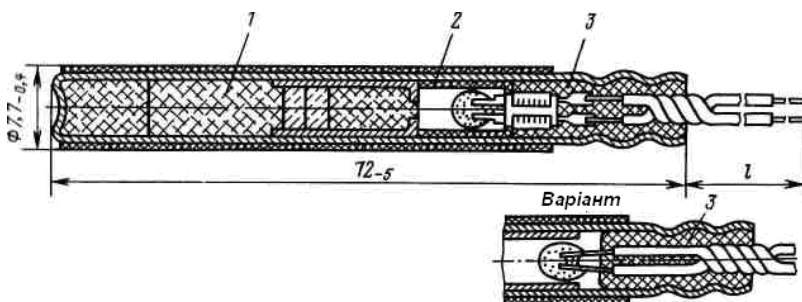
Імовірність безвідмовного спрацювання ЕД має бути 0,9998 при довірчій імовірності 0,95, за статичним даними приймально-здавальних випробувань.

Крім відмітного фарбування гільз ЕД, до їхніх проводів прикріплюють бирку із вказівкою номера серії та букви "С", що означає їхній захист від блукаючих струмів і статичної електрики.

ЕД упаковують у картонні коробки по 30–60 шт. з наступним вкладанням їх у металеві коробки і ящики. У кожен ящик також вкладають картонну коробку з контактними затискачами по 200 шт. у кожний. Разом з товарним ярликом у ящик, як і при відправленні КД і ЕД миттєвої дії, вкладають інструкцію із застосування ЕД.

## **2.6. Електродетонатори запобіжні короткоуповільненої дії**

Електродетонатори запобіжні короткоуповільненої дії складаються з азидо-гексогенового КД підвищеної потужності зі уповільнювачем (рис. 2.8) і ЕЗ, що призначені для висадження зарядів запобіжних ВР у вугільних, сланцевих та інших шахтах, небезпечних за газом і пилом. На бічну зовнішню поверхню їхньої гільзи наносять оболонку товщиною 0,1–0,2 мм із запобіжної маси, що на 55 % складається із сірчаноокислого калію (полум'ягасний компонент) і 45 % – нітроцелюлозного лаку. Ця оболонка запобігає запаленню метаноповітряного середовища при випадковому оголенні ЕД у вугільних шахтах і його вибуху у вільно підвішеному стані поза шпуровим зарядом.



**Рис. 2.8. Електродетонатор ЕД-КУ-ЗКП:**  
1 – капсулі-детонатор; 2 – екран; 3 – електрозапалювач

ЕД виготовляють двох типів (рис. 2.8): 1) з еластичним кріпленням містка накалювання; 2) із твердим кріпленням. Раніше ЕД запобіжного типу виготовлялося (за замовленням споживача) 13 серій в інтервалі уповільнення від 4 до 125 мс та нульовим інтервалом. ЕД з нульовим інтервалом (2–6 мс) маркуються індексом ЕД-КУ-03, де цифра 0 позначає нульовий інтервал, а буква З вказує на запобіжні його властивості. Наступні сім серій мають індекс ЕД-КУ-ЗП, де буква П вказує, що застосовано ЕД підвищеної потужності, оскільки в ньому міститься 1,3 г гексогену замість 1 г, як це застосовується в багатьох незапобіжних ЕД. Інші 5 серій мають індекс ЕД-КУ-З з інтервалом з 25 мс. Розроблено й освоєно більш досконалі запобіжні електродетонатори марки ЕД-КУ-ЗКП. Вони мають 9 серій уповільнення в інтервалі від 20 до 200 мс (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

### Технічні характеристики ЕД-КУ-ЗКП

Серія	Час, мс		Серія уповільнення	Час, мс	
	номінальний	граничні відхилення		номінальне	граничні відхилення
ОПК	4	2–6	5ПК	100	90–110
1ПК	20	13–27	6ПК	125	115–135
2ПК	40	33–47	7ПК	150	138–162
3ПК	60	53–67	8ПК	175	163–187
4ПК	80	70–90	9ПК	200	188–212

Первинним зарядом в ЕД є 0,15 г азиду свинцю, а вторинним – 1,3 г гексогену. Збільшений вторинний заряд застосовують для

підвищення ініціюючої здатності ЕД з метою безвідмовної детонації ними патронів запобіжних ВР. Зниження чутливості патронів ВР може бути викликано їхнім ущільненням до  $1,6 \text{ г/м}^3$  за рахунок попереднього вибуху заряду в сусідньому шпурі при короткоуповільненому груповому висадженні вугілля.

Сполука, що уповільнює, запресована разом з первинним зарядом ІВР у чашечку ЕД (крім ЕД серії 03), складається приблизно з рівних частин кристалічного кремнію та діоксиду свинцю або свинцевого сурику. Маса його залежить від часу уповільнення і становить  $0,08\text{--}0,46 \text{ г}$ .

Електричний опір ЕД із твердим кріпленням містка накалювання при довжині проводів  $2,7 \text{ м}$  складає  $1,8\text{--}3,0 \text{ Ом}$ , а ЕД з еластичним кріпленням –  $2,0\text{--}4,2 \text{ Ом}$ . ЕД всіх серій (крім 03) мають на проводах бирку з позначенням серії. Час спрацьовування ЕД від постійного струму  $1 \text{ А}$  не має виходити за межі, зазначені у *табл. 2.7*.

ЕД мають відповідати таким характеристикам:

- безпечна величина постійного струму, яка не запалює ЕД протягом  $5 \text{ хв.}$ , дорівнює  $0,2 \text{ А}$ ;
- безпечний імпульс запалення не менший за  $0,6 \text{ мс} \cdot \text{А}^2$ ;
- імпульс, що гарантує запалення, не більший за  $2,0 \text{ мс} \cdot \text{А}^2$ ;
- ініціююча здатність: ЕД мають пробивати у свинцевій пластині товщиною  $6 \text{ мм}$  отвір діаметром, не менший діаметр електродетонатора;
- водостійкість: повне спрацьовування від постійного струму  $1 \text{ А}$  після витримки ЕД у воді на глибині  $2 \text{ м}$  протягом  $20 \text{ хв.}$  за температури  $4\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- запобіжна здатність: для серії ЕДКУ-03 не більше  $4 \%$  запалень метаноповітряної суміші з концентрацією метану  $9 \pm 1 \%$  при підриванні в вибуховій камері у вільнопідвищеному стані і не більше  $10 \%$  запалень для всіх інших серій;
- імовірність безвідмовної роботи ЕД не менше  $0,9999$  при довірчій імовірності  $0,95$ ;
- стійкість до трясіння аналогічно до КД та інших ЕД ( $10 \text{ хв.}$  при  $60 \text{ ударах}$  на хвилину з амплітудою  $150 \text{ мм}$ );
- не вибухати при прикладанні до їх проводів динамічного навантаження – вантажу масою  $3 \text{ кг}$ , що падає з висоти  $0,5 \text{ м}$ .
- ЕД упаковують по  $20\text{--}80 \text{ шт.}$  у картонні коробки, які по  $24 \text{ шт.}$  вкладають у металеві коробки, останні – в дерев'яні ящики. Туди ж в

## Розділ II. Капсулі-детонатори та електродетонатори

окремій картонній коробці вкладають контактні затискачі по кількості ЕД.

Гарантійний термін зберігання – 2 роки.

За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) ЕД-КУ-ЗКП належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності В згідно з ЄПБ.

### 2.7. Електродетонатори високовольтні

Електродетонатори високовольтні (ЕДВ) призначені для ініціювання зарядів ВР у спеціальних роботах на денній поверхні: при штампуванні деталей вибухом, імпульсній обробці металів, розпушуванні мерзлих ґрунтів і дробленні скельних порід.

ЕДВ виготовляються двох типів: ЕДВ-1 з металевою гільзою (рис. 2.9, а); ЕДВ-2 із пластмасовою гільзою (рис. 2.9, б). Конструктивні розміри ЕДВ і матеріал гільзи наведено у табл. 2.6.

Як БВР в ЕДВ передбачене застосування тільки ТЕНу. ІВР в ЕДВ немає – використовується принцип "дротика, що вибухає", тому для їхнього спрацьовування необхідне джерело струму високої напруги, що дорівнює 15 кВ при ємності конденсатора 0,47 мкФ і довжині з'єднуючого кабелю до 20 м.

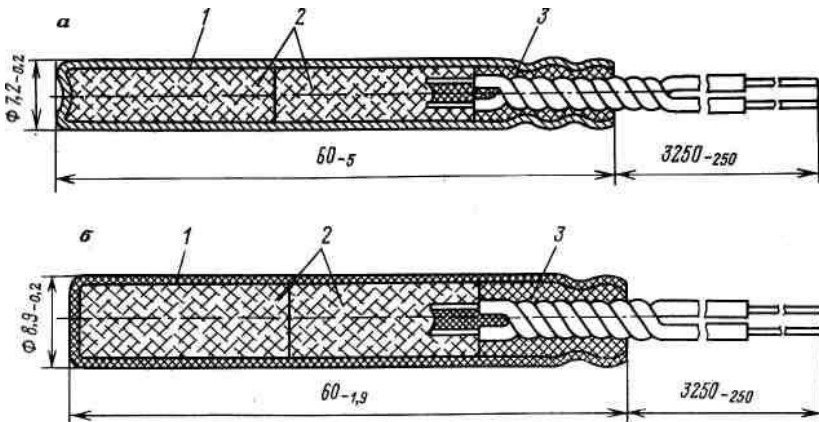


Рис. 2.9. Електродетонатори високовольтні ЕДВ-1 (а) і ЕДВ-2 (б):

1 – гільза; 2 – БВР; 3 – електрозапалювач



**Конструктивні розміри ЕДВ і матеріал гільзи**

Марка ЕДВ	Зовнішній діаметр, мм	Висота, мм	Матеріал гільзи
ЕДВ-1	7,2	60	Біметал товщиною 0,7 мм
ЕДВ-2	8,9	60	Поліамід ПА6-210/310

Відсутність ІВР у детонаторі робить його, порівняно з іншими типами ЕД, більше безпечними як в роботі, так і в експлуатації: вони нечутливі до блукаючих струмів і зарядів статичної електрики (до 10 кВ). Місток накалювання буває мідним – 100 мк – або нікелевим – 80 мк; відповідно різний і електричний опір постійному струму: при мідному містку 0,2–0,6 Ом; при нікелевому – 3,2–4,2 Ом.

Відповідно до принципу "дротика, що вибухає" при подачі на місток накалювання високої енергії (напруга 15 кВ при ємності конденсатора 0,47 мкФ) метал містка протягом мікросекунди переходить у плазмовий стан і вибухає, виникає ударна хвиля з енергією імпульсу, достатньою для ініціювання прилягаючого до нього заряду ТЕНу.

Обидва типи ЕДВ мають ініціюючу здатність, що забезпечує пробиття пластини зі свинцю товщиною 5 мм для ЕДВ-1 і товщиною 3 мм для ЕДВ-2, при цьому діаметр отвору, що пробивається, має бути не менше за діаметр ЕДВ. Стійкість до трясіння в ЕДВ, як і в ЕД-8.

Витримують вплив води при тиску 0,02 МПа: ЕДВ-1 – протягом 3 год.; ЕДВ-2 – протягом 15 хв.

Імовірність безвідмовної роботи ЕДВ має бути не менше 0,99985 при довірчій імовірності 0,95.

Їх упаковують у картонні коробки по 60 шт. у кожную, при цьому один ряд має бути покладений гільзами в один бік, другий – гільзами в протилежний бік (по 6 шт. у ряд). Картонні коробки з ЕДВ укладають у металеві, які, у свою чергу, поміщають у дерев'яні ящики.

Гарантійний термін зберігання ЕДВ-1 становить 1,5 року, ЕДВ-2 – 1 рік від дня виготовлення.

За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) ЕДВ належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності F згідно з ЄПБ.

### 2.8. Електродетонатори та електрозапалювачі термостійкі

Залежно від термостійкості і конструктивних особливостей термостійкі електродетонатори (ТЕД) виготовляються двох модифікацій (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

#### Технічні характеристики термостійких електродетонаторів

Показник	ТЕД-200	ТЕД-270
Розмір гільзи, мм:		
діаметр	9,1–0,2	8,8–0,2
висота	18–1,1	36–2,0
Тип БВП	Октоген	Спеціальний
Гранична температура застосування за 6 год., °С	200	270
Електричний опір, Ом	1,5–4,0	1,5–3,0
Стійкість до зарядів статичної електрики, кВ	3	25

Конструкція ТЕД-200 представлена на *рис. 2.10*, а ТЕД-270 – на *рис. 2.11*. Безпечний струм для всіх типів ТЕД – 0,2 А, а безвідмовний струм – 1 А.

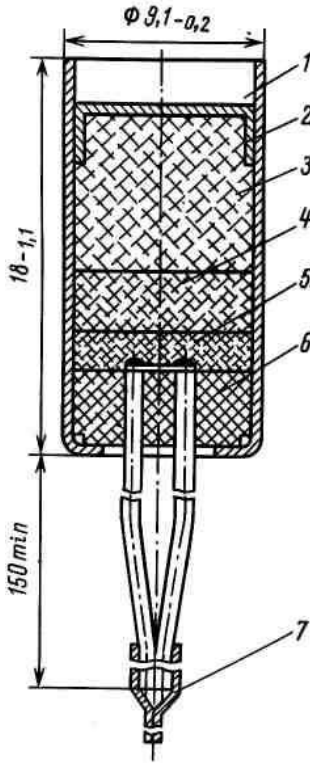
ТЕД мають мати ініціюючу здатність, що забезпечує пробиття у свинцевій пластині товщиною 5 мм отвору діаметром, не меншим за власний.

Вони стійкі до трясіння. Захищеність до зарядів статичної електрики забезпечується нанесенням антистатичної композиції на оболонку ковпачка та його кришки, а також на колодочки в місцях виходу електропроводів.

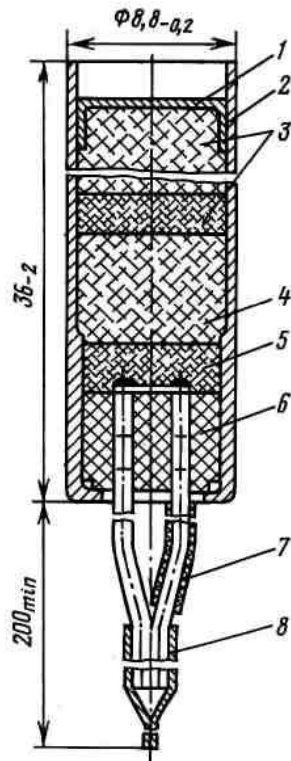
Стійкість до зарядів статичної електрики ТЕД-270 перевіряють розрядом конденсатора ємністю 200 пФ, через резистор 500 Ом, зарядженого до 25 кВ, а ТЕД-200 перевіряють при напрузі 3 кВ.

Імовірність безвідмовного спрацьовування ТЕД має бути не менше 0,999 при довірчій імовірності 0,9.

ТЕД по 20 шт. упаковують у картонні коробки у два ряди. Зігнуті вивідні проводи одного ряду ТЕД мають бути покладені в один бік, а іншого – у протилежний. Картонні коробки укладаються в металеві, а останні – в дерев'яні ящики. Гарантійний термін зберігання становить 2 роки від дня виготовлення. За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) ТЕД належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності В згідно з ЄПБ.



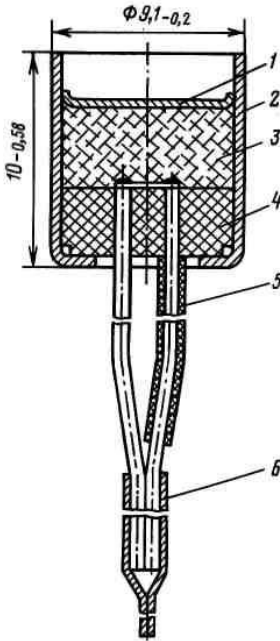
**Рис. 2.10. Електродетонатор ТЕД-200:**  
 1 – ковпачок; 2 – чашечка; 3 – БВР; 4 – ІВР;  
 5 – сполука запалювальна; 6 – колодочка з  
 містком накаливання; 7 – ковпачок  
 замикаючий



**Рис. 2.11. Електродетонатор ТЕД-270:**  
 1 – чашечка; 2 – ковпачок; 3 – БВР; 4 – ІВР;  
 5 – сполука запалювальна;  
 6 – електрозапалювач у зборі; 7 – трубка;  
 8 – ковпачок замикаючий

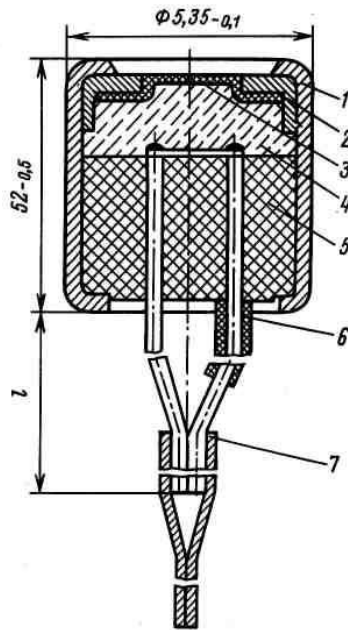
Термостійкі електрозапалювачі призначені для запалення зарядів при проведенні робіт у нафтових і газових свердловинах. Виготовляють два їхні типи з різними ПС за термостійкістю: ТЕЗ-ЗП із термостійкістю до  $165\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2.12); ЕЗ-ПТ-ГР із термостійкістю до  $270\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2.13).

ЕЗ типу ТЕЗ-ЗП призначений для запалення зарядів у торпедних перфораторах, порохових генераторах тиску і тампонажних снарядів, що використовуються у свердловинах з температурою в вибої не більше  $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Рис. 2.12. Електрозапалювач термостійкий ТЕЗ-ЗП:**

1 – кружок; 2 – ковпачок; 3 – запалювальна сполука; 4 – колодочка з містком накаливання; 5 – трубка; 6 – ковпачок замикаючої



**Рис. 2.13. Електрозапалювач ЕЗ-ПТ-ГР:**

1 – ковпачок; 2 – чашечка; 3 – кружок; 4 – запалювальна сполука; 5 – колодочка з містком накаливання; 6 – трубка; 7 – ковпачок замикаючий

Електрозапалювач ЕЗ-ПТ-ГР призначений для запалення капсулів-запалювачів у бойовиках, вибухових патронах, зарядах у ґрунтоносах і кульових перфораторах, що використовуються у свердловинах з температурою в вибої не більше 270 °С.

Електричний опір постійному струму має бути в таких межах: для ТЕЗ-ЗП – 1,5–4,0 Ом, для ЕЗ-ПТ-ГР – 0,8–1,5 Ом.

Безпечний струм для обох типів – 0,05 А, а безвідмовний – 1 А. Вони мають витримувати трясіння при випробуванні в тім же режимі, що й при випробуванні ЕД.

Для транспортування і зберігання електрозапалювачі укладають у картонні коробки: по 30 шт. ТЕЗ-ЗП або 60 шт. ЕЗ-ПТ-ГР, рядами – по

10 шт. у кожному ряді. Картонні коробки з електрозапалювачами укладають у металеві, які, у свою чергу, поміщають у дерев'яні ящики.

Гарантійний термін зберігання термостійких ЕЗ становить 2 роки з моменту виготовлення. За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) ТЕД належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності В згідно ЄПБ при ВР.

## **2.9. Електродетонатори для вибухового запресовування труб**

В останні роки у вітчизняній промисловості і за кордоном у машинобудуванні широко поширені технологічні процеси вибухового запресовування труб у теплообмінних апаратах, різних втулках, при футеровці порожніх деталей, напресуванні металевих наконечників на кінці кабелів тощо.

З'єднання, отримані цим методом, мають високі міцнісні характеристики і у багатьох випадках – ряд істотних переваг перед з'єднаннями, що отримані звичайними методами.

Для здійснення вибухового запресовування як заряд ВР застосовують стандартні детонуючі шнури електродетонатори і спеціальні вибухові речовини.

Нині промисловістю виробляються такі електродетонатори для закріплення труб у трубних решітках теплообмінних апаратів: ЕД-22, ЕД-27, ЕД-29.

Електродетонатор ЕД-22 (рис. 2.14, а) призначений для міцного з'єднання кінців алюмінієвих труб розміром 8×1 мм із трубними ґратами зі сталі в теплообмінних апаратах.

Електродетонатор ЕД-27 (рис. 2.14, б) призначений для зварювання титанових труб розміром 16×1,5 мм із трубними ґратами з того ж матеріалу в теплообмінних апаратах.

Електродетонатор ЕД-29 (рис. 2.14, в) призначений для запресовування титанових труб розміром 14×1,5 мм із трубними ґратами з того ж матеріалу в теплообмінних апаратах.

У цих ЕД застосована одна конструкція електрозапалювача з еластичним кріпленням містка накаливання.

Електричний опір електродетонаторів постійному струму в межах 0,12–0,58 Ом; безпечний струм – 0,92 А; тривалий запалювальний струм 1,02 А; безпечний імпульс струму – не менше 40 мс·А<sup>2</sup>, імпульс запалювання не більше 88 мс·А<sup>2</sup>.

Розділ II. Капсулі-детонатори та електродетонатори

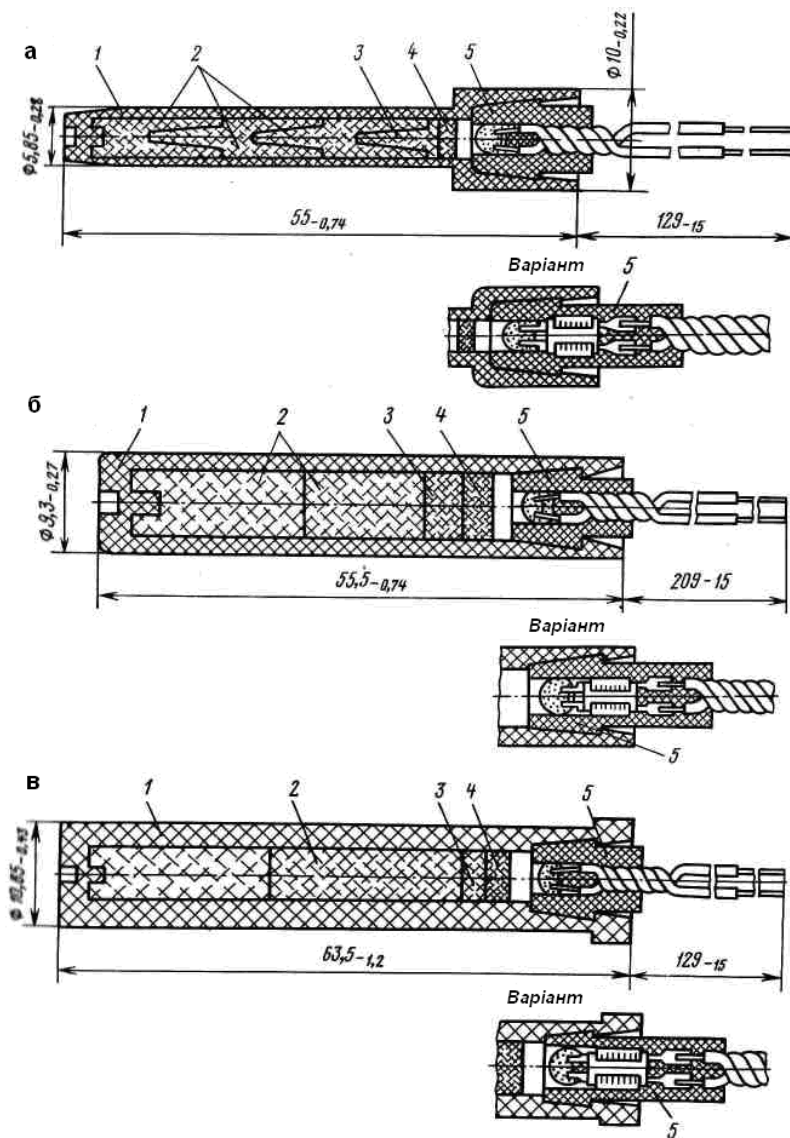


Рис. 2.14. Електродетонатор ЕД-22 (а), ЕД-27 (б) і ЕД-29 (в):  
 1 – гільза; 2 – БВР; 3 – ІВР; 4 – запалювальна сполука; 5 – електрозапалювач

ЕД, які з'єднані послідовно, мають безвідмовно спрацьовувати від постійного струму 5 А. Імовірність безвідмовного спрацьовування ЕД має бути не менше 0,998 при довірчій імовірності 0,9. ЕД витримують трясіння, як і ЕД-8.

ЕД упаковують у картонні коробки, які укладають у металеві коробки, а металеві – в дерев'яні ящики. Гарантійний термін зберігання 2 роки з моменту виготовлення. За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) ЕД належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності В згідно з ЄПБ.

## **2.10. Розрахунок електровибухових мереж**

Електровибухова мережа складається з ЕД, розподільної мережі і магістралі. Розподільна мережа утворюється з дільничних проводів, які з'єднують між собою кінцеві проводи суміжних ЕД, і сполучних проводів, що приєднують кінцеві проводи крайніх ЕД до магістралі.

Розрізняють послідовні, паралельні і змішані електровибухові мережі.

У послідовних мережах ЕД з'єднуються один з одним послідовно; у паралельних – паралельно; змішані мережі можуть бути послідовно-паралельними або паралельно-послідовними.

У послідовно-паралельних мережах ЕД у групах монтуються послідовно, а групи з'єднуються одна з одною паралельно. У паралельно-послідовних мережах ЕД у групах монтуються паралельно, а групи – послідовно.

При виборі схеми електровибухової мережі необхідно знайти таку, що передбачає проходження через всі ЕД гарантійного струму або гарантійного імпульсу, що забезпечують запалення всіх ЕЗ в електродетонаторах, вмонтованих у мережу. Крім того, обрана схема має дозволяти просто і надійно перевіряти справність підривної мережі, вимагати меншої витрати проводів і меншого перетину магістралі, менш потужного джерела струму.

Більшою мірою цим вимогам відповідає послідовна схема з'єднання ЕД, тому вона є основною. Коли до послідовної мережі гарантійний струм або гарантійний імпульс струму одержати не вдається, застосовують, як правило, послідовно-паралельну схему з'єднання ЕД. Паралельні мережі використовують, коли інші схеми незручні.

Кожна підривна мережа має бути розрахована. Розрізняють перевірочний і повний розрахунки.

## Розділ II. Капсулі-детонатори та електродетонатори

Перевірочним розрахунком установлюється, чи достатній імпульс струму одержить кожен ЕД для запалення ЕЗ у мережі даної схеми з певною кількістю ЕД і з даним перерізом проводів. При повному розрахунку обирається схема підривної мережі і визначається переріз проводів із забезпеченням надійності та економічності підривної мережі.

Вибір методу розрахунку електровибухових мереж залежить від їхньої схеми і від застосовуваного джерела вибухового струму [4, 7, 8].

При використанні конденсаторних вибухових машинок при перевірочному розрахунку підривної мережі розраховується опір підривної мережі і порівнюється із гранично припустимим. Розрахунковий опір підривної мережі не має перевищувати гранично припустимий.

Для послідовних вибухових мереж граничний опір приймається рівним опорю, зазначеному в паспорті підривної машинки. Розрахунковий опір послідовних мереж визначається за формулою:

$$R = nr_{EA} + l_{\partial i} r_{\partial i} + 2l_i r_i, \quad (2.4)$$

де  $n$  – загальна кількість ЕД у вибуховій мережі;

$r_{ED}$  – опір одного ЕД (максимальне за технічною документацією), Ом;

$l_{pm}$  – довжина проводів розподільної мережі, м;

$r_{pm}$  – опір одного метра проводів розподільної мережі, Ом/м;

$l_i$  – довжина магістралі (в один кінець), м;

$r_i$  – опір 1 м магістрального проводу, Ом/м.

Для паралельних вибухових мереж гранично припустимий опір  $R_1$ , за якого конденсатор підривної машинки міг би послати в підривну мережу імпульс струму, достатній для запалення найменш чутливого ЕД, за умови, що наприкінці імпульсу струм буде не нижчий за тривалий запалювальний, розраховується за формулою:

$$R_1 = K_{\hat{A}} + \sqrt{K_B^2 + \left(-\frac{1}{m} I_{\partial\partial}^2 \tilde{N}^2 V^2\right)}, \quad (2.5)$$

де  $K_{\hat{e}}$  – найбільший імпульс запалення ЕД, мс·А<sup>2</sup>;

$I_{\partial\partial}$  – тривалий запалювальний струм ЕД, А;

$C$  – робоча ємність конденсатора підривної машинки, Ф;



$V$  – напруга, від якої заряджається конденсатор підривної машинки, В;

$m$  – кількість паралельних гілок (при цьому передбачається, що гілки мають однаковий опір).

Розрахунковий опір паралельної підривної мережі визначається за формулою:

$$R_2 = -\frac{R_A}{m} + l_c r_c + 2l_m r_m, \quad (2.6)$$

де  $R_2$  – опір гілок, Ом;

$m$  – кількість гілок;

$l_c$  – довжина сполучних проводів, м;

$r_c$  – опір 1 м сполучних проводів, Ом/м;

$l_m$  – довжина магістралі (в один кінець), м;

$r_m$  – опір 1 м магістральних проводів, Ом/м.

Опір гілок визначається за формулою:

$$R_2 = r_{ED} + l_D r_D, \quad (2.7)$$

де  $r_{AA}$  – опір ЕД, Ом;

$l_A$  – довжина дільничних проводів у гілці, м;

$r_A$  – опір 1 м дільничних проводів, Ом/м.

Для безвідмовного запалення необхідно, щоб розрахунковий опір підривної мережі не перевищував гранично припустимий.

**Для змішаних послідовно-паралельних вибухових мереж** гранично припустимий опір розраховується, як і для паралельної мережі, за формулою (2.4).

Розрахунковий опір послідовно-паралельної підривної мережі визначається за формулою:

$$R = -\frac{R_a}{m} + 2l_m r_m. \quad (2.8)$$

При цьому опір гілки визначається за формулою:

$$R_B = nr_{AA} + l_A r_A + l_c r_c. \quad (2.9)$$

Для безвідмовного запалення необхідно, щоб розрахунковий опір підривної мережі не перевищував припустимий.

**Розділ III  
ДЕТОНУЮЧІ ТА ВОГНЕПРОВІДНІ ШНУРИ**

У гірничодобувній промисловості і на багатьох інших видах вибухових робіт, особливо, якщо існує небезпека для ЕД від блукаючих струмів, застосовуються, як правило, безкапсульний і неелектричний способи висадження, тобто без застосування ЕД і КД. У таких умовах найчастіше заряди ВР ініціюють за допомогою ДШ, особливо, якщо доводиться підривати великі серії (до 1000 зарядів і більше). При монтажі вибухових зовнішніх мереж для групового висадження зарядів безпосередньо в свердловинах або через проміжний детонатор ДШ використовується і як магістральна нитка, і як відгалуження. Призначення ДШ – передача детонаційного імпульсу з однієї вихідної точки (зазвичай віддаленої на значну відстань) кожному заряду та ініціювання в ньому детонації. У вихідній точці магістральну нитку ДШ підривної мережі ініціюють від ЕД або КД із відрізком ВШ.

За необхідності висадження серії зарядів з різним ступенем уповільнення використовують піротехнічне детонаційне реле РП-8 двосторонньої дії.

Для вибухових робіт у середовищах з високими температурами і тиском використовують спеціальні термостійкі ДШ. Причому вони слугують як для передачі детонаційного імпульсу до зарядів ВР або підривних пристроїв (наприклад, розташованих у глибоких свердловинах), так і як самостійні подовжені заряди, що детонують (ПДЗ).

Поряд з безкапсульним способом висадження в умовах електричної небезпеки застосовують також спосіб вогневого підривання за допомогою КД, з'єднаного з відрізком ВШ необхідної довжини. Цей спосіб частіше застосовують для висадження одиночних зарядів і невеликої їхньої кількості в групах. ВШ поширює ініціюючий імпульс (промінь вогню) з вихідної точки ініціювання до КД, розміщеного у заряді. Для ініціювання ВШ у вихідній точці є такі допоміжні засоби запалювання, як патрони групового запалювання, запалювальні та електрозапалювальні трубки, тліючий гніт для підпалювання одиночного відрізка шнура.

### 3.1. Детонуючі шнури загального призначення

Детонуючі шнури являють собою гнучкі подовжені пристрої, що складаються із серцевини потужної БВР, що безвідмовно детонує в подовженому заряді малого діаметра, декількох опліток з бавовняної або синтетичної пряжі із вологоізолюючим зовнішнім покриттям, можлива також оболонка з поліетиленової композиції або пластикату.

ДШ розрізняються між собою за потужністю, морозо- і водостійкістю, а також за іншими експлуатаційними показниками. Наведемо деякі їхні марки:

– ДША – ТЕНовий нормальної потужності і малої водостійкості в оплітці із пряжі (рис. 3.1);

– ДШВ – ТЕНовий нормальної потужності підвищеної водостійкості в оболонці із пластифікованого полівінілхлориду (рис. 3.2);

– ДШЕ-12 – ТЕНовий нормальної потужності і високої водостійкості в поліетиленовій оболонці (рис. 3.3);

– ДШЕ-12М – гексогеновий підвищеної потужності і високої водостійкості в поліетиленовій оболонці;

– ДШЕ-30 – гексогеновий підвищеної потужності, високої водостійкості в поліетиленовій оболонці;

– ДШЕ-50 – гексогеновий високої потужності і високої водостійкості в поліетиленовій оболонці;

– ДШЕ-6 – ТЕНовий малопотужний водостійкий (рис. 3.4);

– ДШ-13 – нормальної потужності із серцевиною з пластифікованої композиції ЭГ-85 з високої стійкістю до води та агресивного середовища (рис. 3.5).

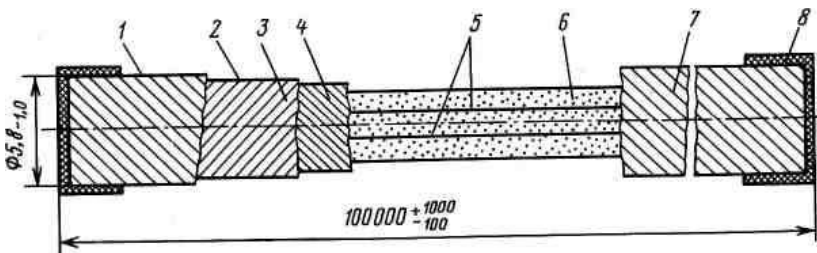


Рис. 3.1. Шнур марки ДШ-А:

1, 2, 8 – водоізолююче покриття; 3 – обмотка II; 4 – обмотка I;

5 – напрямні нитки; 6 – серцевина; 7 – обмотка III

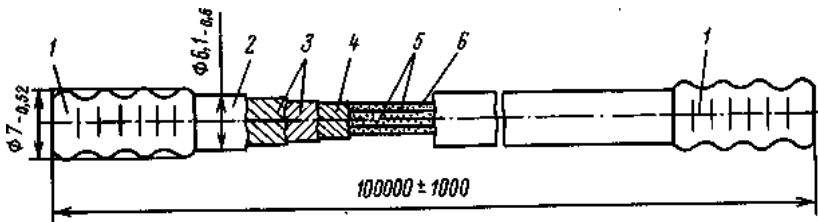


Рис. 3.2. Шнур детонуючий ДШ-В:

1 – ковпачок; 2 – пластикат; 3 – пряжа бавовняна; 4 – пряжа лляна;  
5 – напрямні нитки; 6 – серцевина

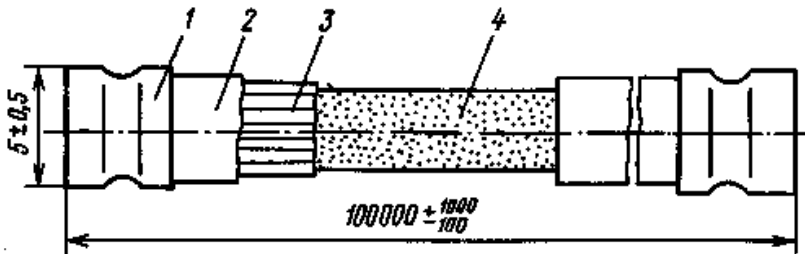


Рис. 3.3. Шнур марки ДШЕ-12:

1 – ковпачок; 2 – оболонка; 3 – поздовжні нитки; 4 – серцевина

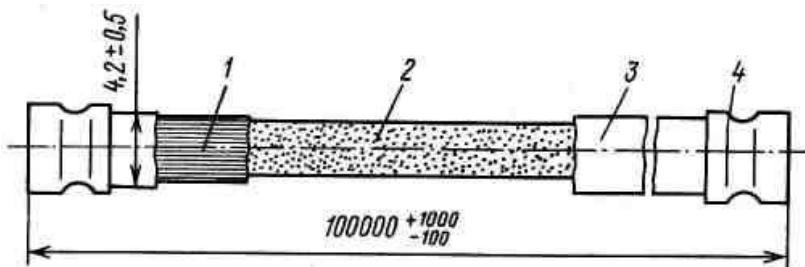
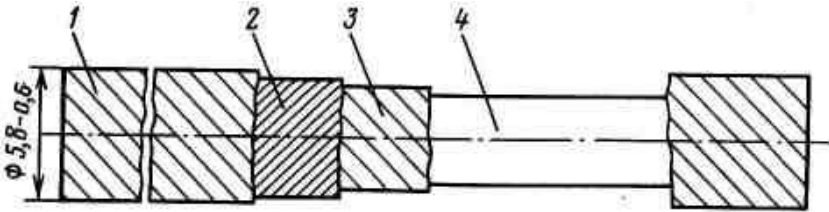


Рис. 3.4. Шнур марки ДШЕ-6:

1 – поздовжні нитки; 2 – серцевина; 3 – оболонка; 4 – ковпачок



**Рис. 3.5. Детонуєчий шнур ДШ-13:**

*1 – обмотка III; 2 – обмотка II; 3 – обмотка I; 4 – серцевина*

Буква "Е" у позначенні марки ДШ указує, що пластикатова оболонка нанесена методом екструзії. Ці шнури прийнято називати екструзійними. Водостійкість їх забезпечується оболонкою та герметизуючими ковпачками.

Вказані шнури нормальної потужності здатні ініціювати ВР без ПД; майже всі застосовуються для ініціювання амонітів. Для ініціювання зарядів гранульованих і водомістких ВР їх використовують разом із тротиловою шашкою або патроном амоніта як ПД.

Шнури ДШЕ-12М, ДШЕ-30 і ДШЕ-50 призначені для проведення сейсморозвідувальних робіт методом зовнішніх протяжних вибухових мереж без застосування зосереджених зарядів ВР. Вони можуть бути також використані для безпосереднього й одночасного ініціювання (по всій довжині свердловинного заряду) деяких типів гранульованих ВР, наприклад, грамоніту 79/21, грануліту АС-8У та інших, близьких до них за сприйнятливістю до детонації.

ДШ-13, як стійкий до агресивного середовища за рахунок серцевини, найбільш придатний для ініціювання зарядів ігданіту і гранулітів, у складі яких присутнє дизельне паливо або мастило, а також зарядів інших ВР, розміщених у свердловинах вогневого буріння, що містять незгорілі залишки дизельного палива. Еластична серцевина цих шнурів дозволяє застосовувати їх у свердловинах із замерзаючою водою.

Малопотужний ДШЕ-6 використовують як магістральний ДШ.

За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) ДШ належать до 1 класу, група сумісності Д згідно з ЄПБ.

Крім наведених табличних характеристик, шнури мають відповідати ще наступним вимогам:

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури

---

- розкид швидкості детонації має бути в межах  $\pm 10\%$ ;
- кінці шнура марки ДША мають бути загерметизовані мастикою, а на кінці шнурів із пластикатною оболонкою мають бути одягнені алюмінієві ковпачки з обтисненням;
- серцевина шнурів має бути рівномірною та безперервною;
- після випробування на термо- і водостійкість шнури мають безвідмовно і повністю детонувати від КД № 8 і ЕД;
- мають зберігати еластичність стрижня діаметром 5 мм при чотириразовому перегинанні його в один та інший бік на  $90^\circ$ ; не має бути при цьому зламів і тріщин оболонки в межах негативних температур, за яких витримують шнури;
- мають надійно детонувати 200 г пресованої тротилової шашки при двох і більше витках шнура на бічній поверхні шашки.

Імовірність безвідмовної роботи шнурів 0,9997 при довірчій імовірності 0,9. При запалюванні відкритим полум'ям шнури не мають давати в розгорнутому стані спалахів і детонації, а мають згоряти спокійно.

Для відмінності детонуючих шнурів від вогнепровідного, пластикатну оболонку ДШ офарблюють у червоні кольори різних відтінків, а в нитяну зовнішню оплітку шнура марки ДША вплітають дві червоні або коричневі нитки. Допускається замість фарбування ниток офарблювати в такі ж кольори вологоізолюючу мастику, що покриває шнур та складається з 34 % парафіну, 60 % церезину і 6 % гумового клею. Відрізки ДШ однієї й тієї ж марки (крім ДШЕ-6), що з'єднані між собою морським вузлом або внакладку, мають безвідмовно детонувати при ініціюванні одного з них за допомогою КД № 8 або ЕД. ДШЕ-6 має детонувати від ДШ із масою ВР не менше 12 г.

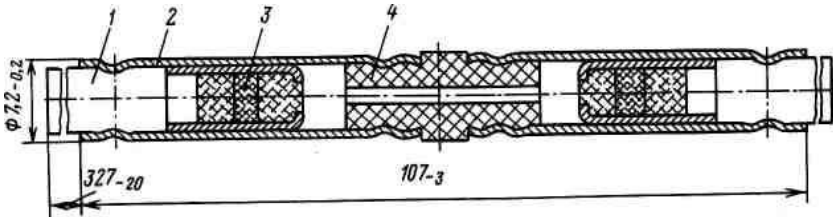
Шнури відрізками по 20, 50 або 100 м згортають у бухти, перев'язують шпагатом і по 4–10 бухт укладають у ящик разом з товарним ярликом і інструкцією із застосування. У партії може бути 40–80 тис. м шнура (партії шнурів ДШЕ-30, ДШЕ-50 – від 5 до 20 тис. м).

#### 3.2. Засоби уповільнення дії детонуючих шнурів

Як засіб уповільнення дії ДШ застосовують піротехнічне реле РП-8, що дозволяє розширити можливості безкапсульного способу висадження (рис. 3.6).

Реле РП-8 має три серії уповільнення – 20, 35 і 50 мс. Вони мають спрацьовувати після витримки у воді під тиском 1960 Па протягом

3 год. РП-8 зберігає працездатність за температури від  $-35$  до  $+50$  °С, а також після знаходження в середовищі з відносною вологістю 95 % за температури  $25-35$  °С протягом 240 год.; забезпечує стійкість до трясіння на стандартному приладі в режимі, що застосовується для всіх видів ЗІ. Кінці ДШ у РП-8 не мають висмикуватися при підвішуванні до них вантажу масою 2 кг протягом 3 хв.



**Рис. 3.6. Реле піротехнічне РП-8:**

*1 – шнур; 2 – гільза; 3 – уповільнювач; 4 – пробка*

Імовірність безвідмовного спрацьовування РП-8 не менше 0,9993 при довірчій імовірності 0,9. Гарантійний термін зберігання – 2 роки.

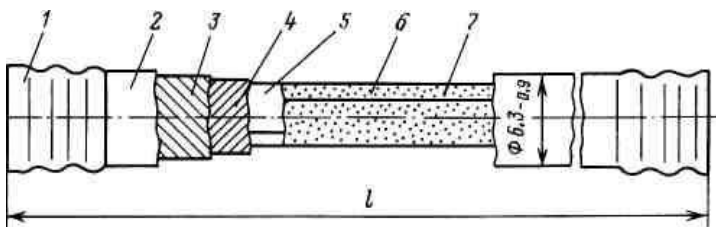
За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) РП-8 належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності В згідно з ЄПБ.

### **3.3. Термостійкі детонуючі шнури та подовжені детонуючі заряди**

Застосовують для прострілочних та інших видів вибухових робіт у нафтових і газових свердловинах за високих температур і тиску. Вони містять у серцевині збільшену кількість БВР на 1 м. Уміщено ДШ в оболонку із синтетичних ниток і пластику або алюмінієвої труби. Виготовляють наступні три марки ДШТ, при цьому використовується гексоген або октоген у сипучому стані:

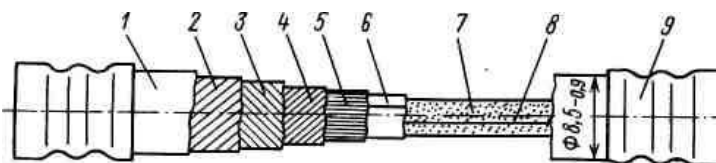
- ДШТ-200 (рис. 3.7) для температури до 200 °С без надлишкового тиску;
- ДШП-33М (рис. 3.8) для температурних умов від  $-50$  до  $+100$  °С і тиску 49 МПа.

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури



**Рис. 3.7. Термостійкий детонуючий шнур ДШТ-200:**

1 – ковпачок; 2 – оболонка; 3 – обмотка II; 4 – обмотка I; 5 – трубка;  
6 – серцевина; 7 – нитка напрямна



**Рис. 3.8. Шнур детонуючий посилений ДШП-33М:**

1 – оболонка; 2 – обмотка III; 3 – обмотка II; 4 – обмотка I; 5 – нитки поздовжні;  
6 – трубка; 7 – серцевина; 8 – напрямна нитка; 9 – ковпачок

Шнури мають відповідати вимогам, зазначеним в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

**Технічні характеристики термостійких детонуючих шнурів**

Показник	Марка шнура	
	ДШТ-200	ДШП-33М
Маса ВР серцевини, г/м	22±2	33±2
Шнур має безвідмовно детонувати від	ТЕД-200	Патрона ПГ-170
Шнур має передавати детонацію проміжним детонаторам	ДП-200	ДП-ДПС

Шнури відрізками по 50 м згортають у бухти із внутрішнім діаметром 100 мм; бухти обертають у пергамент, а потім упаковують у дерев'яні ящики. Гарантійний термін зберігання – 5 років від дня виготовлення.

Поряд із уже розглянутими термостійкими ДШ випускають ДШ, що споряджають термостійкими БВР, попередньо впресованими в таблетки. Такі ДШ називають таблетковими термостійкими шнурами – ДШТТ. Вони призначені для ініціювання кумулятивних зарядів безкорпусних перфораторів, які використовуються на прострілочних



роботах, а також торпед типу ТДШ у нафтових і газових свердловинах в умовах високих температур і гідростатичних тисків.

Випускається шнур ДШТТ-180/800 (рис. 3.9), який може бути двох діаметрів – 7,2 і 9,2 мм. Максимальна температура застосування 180 °С, максимальний гідростатичний тиск 80 МПа.

Повнота і рівномірність заповнення серцевини шнура таблетками забезпечується технологією. Шнур діаметром 7,2 мм має надійно ініціювати проміжний детонатор ДП-1 через скляну перешкоду товщиною 4 мм. Шнури ДШТТ-180/800 мають бути працездатними після шестигодинної витримки у свердловинній рідині за максимальних температурі і гідростатичному тиску і безвідмовно детонувати від патрона ПВГУ-5-160. Швидкість детонації має бути не менше 7,5 км/с.

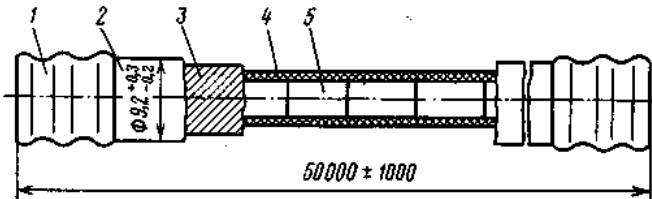


Рис. 3.9. Детонуючий шнур ДШТТ-180/800:

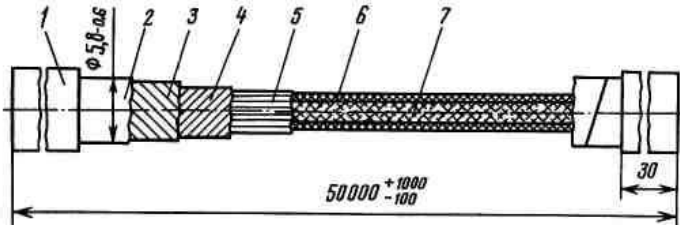
1 – ковчак; 2 – покриття; 3 – оплітка; 4 – плівка; 5 – таблетка

Готові шнури згортають у бухти із внутрішнім діаметром не менше 150 мм для шнура діаметром 7,2 мм і 200 мм для шнура діаметром 9,2 мм. Бухти шнура огортають пергаментом і укладають у дерев'яні ящики. Гарантійний термін зберігання ДШТТ-180/800 – 5 років.

Термоводостійкий шнур ДШТВ-150/800 (рис. 3.10) призначений для ініціювання початку детонації в кумулятивних безкорпусних перфораторах і шнурових торпедах, що працюють у свердловинах при безпосередньому контакті зі свердловинною рідиною за температури до 150 °С та тиску до 78,4 МПа. ДШТВ-150/800 має стійкість до води, агресивного середовища, а також підвищену морозостійкість за рахунок серцевини. Він має лінійну щільність серцевини БВР  $32 \pm 3$  г/м. Після витримки протягом 6 год. у середовищі за температури  $145 \pm 5$  °С і тиску 78,4 МПа він має безвідмовно детонувати від патрона ПВГУ-4 і передавати детонацію проміжному детонатору ДП-2 через перешкоду – пластину з алюмінієвих сплавів марки Д16АГ товщиною 3–0,25 мм. Відрізки готового шнура по 50 м згортають у бухти із

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури

внутрішнім діаметром 100 мм. Бухти огортають папером і укладають у дерев'яні ящики. Гарантійний термін зберігання шнура – 3 роки.

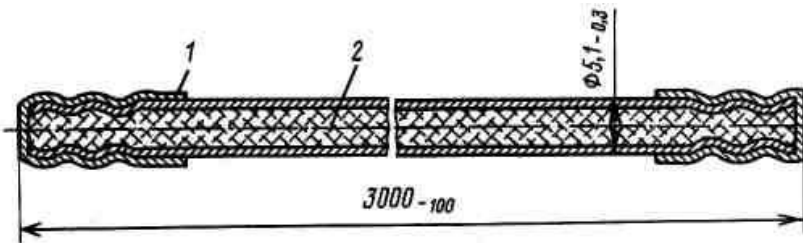


**Рис. 3.10. Детонуючий шнур ДШТВ-150/800:**

1 – стрічка; 2 – плівка; 3 – обмотка III; 4 – обмотка II;  
5 – напрямні нитки; 6 – плівка; 7 – ЭЖ-1

У ряді випадків чіткі вимоги до мінімальних габаритних розмірів прострілочно-вибухової апаратури вимагають необхідне забезпечення ініціюючої здатності термостійких ДШ при малих їхніх габаритах або при тих же габаритах, але зі збільшеною ініціюючою здатністю. Це досягається застосуванням зарядів, що детонують, не в м'якій (як ДШ), а в металевій оболонці. Такі вироби називають подовженими зарядами, що детонують (ПДЗ).

Промисловість випускає термостійкі ПДЗ трьох марок: ПДЗТ-250 (рис. 3.11), ПДЗТВ-170/1000 і ПДЗТВ-250/1500.



**Рис. 3.11. Заряд ПДЗТ-250-14:**

1 – ковпачок; 2 – споряджена труба

Вони призначаються для прострілочно-вибухових робіт у глибоких свердловинах при наступних температурах і тисках:

– ПДЗТ-250 – за температури до 250 °С без надлишкового тиску протягом 6 год.;

## Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин

– ПДЗТВ-170/1000 – за температури до 170 °С і тиску 98 МПа протягом 6 год.;

– ПДЗТВ-250/1500 – за температури до 250 °С і тиску 147 МПа протягом 3 год.

Заряди мають відповідати вимогам, наведеним в *табл. 3.2*.

*Таблиця 3.2*

### Технічні характеристики подовжених зарядів

Показник	Марка заряду		
	ПДЗТ-250	ПДЗТВ-170/1000	ПДЗТВ-250/1500
Маса ВР серцевини (не менше), г/м	14	34, 90, 135	29, 90, 135
Заряд має детонувати від	ТЕД-6-270	Патрона ПВГУ-4	Патрона ПВГУ-4
Заряд має передавати детонацію проміжним детонаторам	ДПТ-250	ДП-1С	ДПТ-250

Дві останні вище наведені марки зарядів випускають у трьох різновидах за потужністю з різною масою БВР в їхній серцевині.

Швидкість детонації зарядів має відповідати значенням, зазначеним у *табл. 3.3*.

*Таблиця 3.3*

### Швидкість детонації подовжених зарядів

Марка заряду	При нормальній температурі	При підвищеній температурі
ПДЗТ-250	5,5	5,0
ПДЗТВ-170/1000	7,0	6,5
ПДЗТВ-250/1500	5,5	5,0

Заряди загортають пергаментом у пакети по 25 шт., а потім упаковують у ящики або піни. Гарантійний термін зберігання зарядів 3 роки. Термостійкі ДШ і ПДЗ за ступенем небезпеки при роботі з ними (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності D згідно з ЄПБ.

### 3.4. Вогнепровідні шнури

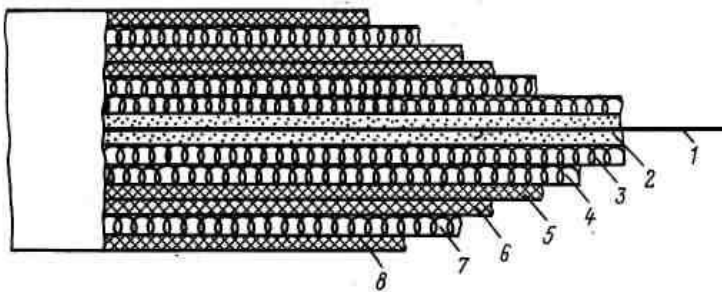
Вогнепровідні шнури ВШ являють собою гнучкі пристрої. Вони складаються із серцевини з димним порохом, центральної напрямної бавовняної нитки, оболонки, виконаної декількома шарами бавовняних і лляних ниток із зовнішнім гідроізолюючим покриттям або суцільною оболонкою із пластикату. Призначаються для запалення КД при вогневому способі висадження зарядів ВР, а також для запалення зарядів димного пороху, що так само застосовуються при вибухових роботах.

Випускають наступні чотири марки ВШ, що розрізняють між собою за температурною і водостійкістю залежно від вологоізолюючого матеріалу в їхній оболонці:

ВША – асфальтований із тришаровою нитяною опліткою (рис. 3.12);

ВШДА – двічі асфальтований (третя і четверта нитяні оплітки, підвищеної водостійкості) (рис. 3.13);

ВШП – пластикатовий, високої водостійкості з полівінілхлоридною оболонкою (рис. 3.14).

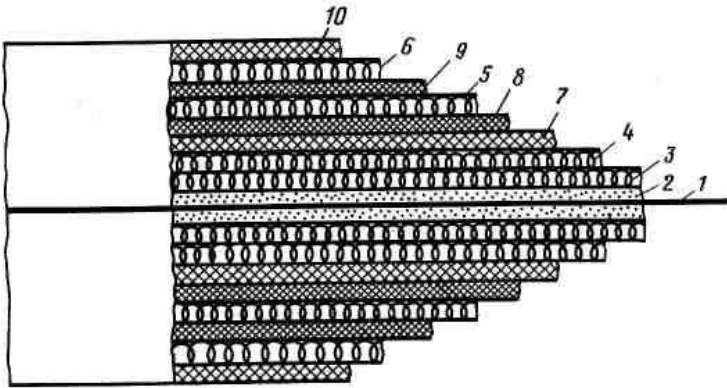


**Рис. 3.12. Вогнепровідний шнур марки ВША:**

1 – центральна напрямна нитка; 2 – шнуровий порох;  
3, 4 і 7 – перша, друга і третя оплітки; 5, 6 і 8 – водоізолюючі покриття

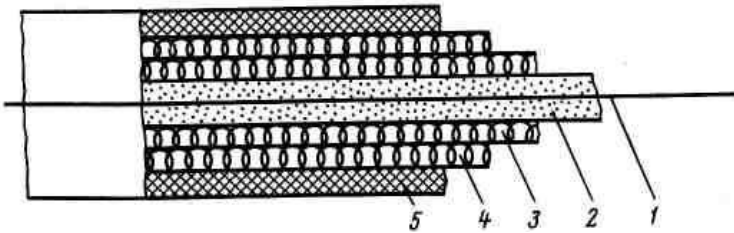
Для центральної напрямної нитки шнурів застосовують бавовняну пряжу № 37/3, а для самих трьох опліток шнура марки ВША використовують бавовняну пряжу інших номерів міцності. У двічі асфальтованого шнура перші дві і четверта оплітки виконані з бавовняної пряжі, а третя – із лляної грубої пряжі. Обидві оплітки ВШП із лляної грубої або бавовняної пряжі. Полівінілхлоридна смола

пластифікована додає морозостійкості. У шнура марки ВШЕ поліетиленова оболонка наноситься методом екструзії на обидві оплітки із крученої поліефірної та бавовняної ниток. Для зовнішньої оболонки застосовують морозо- і мастилостійку марку поліетилену. Цей шнур особливо ефективний для вогневого висадження ВР, які містять мастило або дизельне паливо (грануліти, ігданіт). Для асфальтування нитяних опліток використовують термоплавку композицію з кам'яновугільної смоли (вона запобігає пліснявінню бавовняної пряжі), бітуму, парафіну і петролатуму, що забезпечують вологостійкість і еластичність вологоізолюючого покриття.



**Рис. 3.13. Вогнепродний шнур марки ВШДА:**

*1 – центральна нитка; 2 – шнуровий порох; 3–6 – оплітки (3 – перша, 4 – друга, 5 – третя, 6 – четверта); 7–10 – водоізолюючі покриття*



**Рис. 3.14. Вогнепродний шнур марки ВШП:**

*1 – центральна напрямна нитка; 2 – шнуровий порох; 3, 4 – перша і друга оплітки; 5 – водоізолюючі покриття*

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури

Кольори шнурів темно-сірий або чорний, залежно від кольорів вологоізолюючого покриття. Кольори шнурів із пластикатою оболонкою залежать від природних кольорів пластику, що за необхідності може бути пофарбований у необхідні кольори. Для виключення злипання асфальтованих шнурів їх опудрюють тальком.

Шнури випускають відрізками по 10 м, згорнутими в бухти різного діаметра, які вкладають один на один. Потім по 20–25 бухт упаковують у пакети із вологоізолюваного паперу або поліетиленової плівки і поміщають у ящики з гофрованого картону. Дерев'яні ящики з поліетиленовим мішком-вкладишем застосовують для пакування при відправленні шнура на експорт. У партії може бути до 12 тис. бухт.

Завод-виготовлювач гарантує дотримання якості відповідно до встановлених нормативних показників асфальтованих шнурів протягом 1 року, пластикових – протягом 5 (табл. 3.4).

Крім наведених у табл. 3.4 нормативів, не менш важливим для всіх марок вогнепровідних шнурів є вимога повноти і характеру їхнього горіння. Горіння має бути рівномірним з постійною швидкістю (близько 10 мм/с), незатухаючим, без проривання ударів газів і іскор через оболонку і запалення дотичних шнурів.

За ступенем небезпеки при роботі (перевезення, зберігання, доставка на місце робіт, використання тощо) належать до класу 1, підклас 1.4, група сумісності G згідно з ЄПБ.

Таблиця 3.4

#### Технічні характеристики вогнепровідних шнурів

Показник	Марка		
	ВША	ВШДА	ВШП
Діаметр шнура, мм	4,8–5,8	5–6	5–6
Час горіння відрізка шнура 600 мм, с	60–70	60–70	60–70
Розкид часу горіння (не більше), с	6–10	7–10	7–10
Водостійкість – вода не має проникати в серцевину при витримці (не менше), год.	1,5–1,0	4–5	4–5
Теплостійкість – не має бути злипання шнурів за температури, °С	45	45	50
Морозостійкість – не має бути тріщин і переломів за негативної температури, °С	25	25	35

### **3.5. Засоби запалювання вогнепровідних шнурів**

#### **Патрони паперові займисті**

Патрони займисті ЗП-П призначені для одночасного запалювання від 6 до 36 відрізків ВШ, що поміщають у їхню гільзу, при вогневому способі ведення вибухових робіт у сухих умовах на денній поверхні за температури від  $-40$  до  $+50$  °С та в шахтах, небезпечних за газом і пилом.

Патрони являють собою паперову парафіновану гільзу з картону, на дні якої поміщено корж товщиною 2–3 мм займистої сполуки зі свинцевого сурику (90 %), порошку сілікокальцію (10 %) і колоксиліну (2 %, понад 100 %). Верхня відкрита частина гільзи розрізана на чотири лапки з буртиками. Останні розходяться для полегшення вставки пучка відрізків ВШ, які потім обжимаються за допомогою гумового кільця або шпагату. При цьому один з відрізків ВШ служить для запалювання всіх інших за допомогою тліючого гноту, іноді замість нього на місці робіт у патрон поміщають електрозапалювач ЕЗ-ВШ. Випускають п'ять номерів таких патронів (табл. 3.5).

Патрони ЗП-П-1 упаковують у картонні коробки, які перев'язують шпагатом, а потім укладають у дерев'яні ящики. Патрони всіх інших номерів упаковують без коробок у ящики, прокладені усередині вологоізолюючим папером або поліетиленовою плівкою. У кожен ящик разом з товарним ярликом установленого зразка вкладають інструкцію з застосування. Допускається зберігання і застосування патронів при навколишніх температурах у межах  $-40...+50$  °С. Патрони неводостійкі.

*Таблиця 3.5*

**Технічні характеристики запалювальних патронів**

Номерний індекс патрона	Розміри гільзи, мм		Маса займистого прошарку, г	Кількість відрізків, що поміщають, ВШ, включаючи ЕЗ-ВШ
	внутрішній діаметр	довжина		
ЗП-П-1	20	50	1,0	До 7
ЗП-П-2	24	55	1,5	8–12
ЗП-П-3	30	60	2,0	13–19
ЗП-П-4	35	60	2,5	20–27
ЗП-П-5	40	60	3,0	28–37

Установлений гарантійний термін зберігання патронів 2 роки; після повторного випробування на безвідмовність із позитивними

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури

результатами допускається зберігати і використовувати ще 6 місяців. Після закінчення цього терміну невикористані патрони мають бути знищені шляхом спалювання групами по 500 шт. за раз із дотриманням відповідних вимог ЄПБ.

#### Електрозапалювач вогнепровідного шнура

Електрозапалювач вогнепровідного шнура ЕЗ-ВШ складається з електрозапалювача, вставленого в один кінець гільзи, інший кінець призначений для розміщення ВШ. Застосовується для одночасного запалювання пучка кінців ВШ, вставлених у патрон ЗП-П, і для запалювання одиночного відрізка ВШ, змонтованого із КД у займисту трубку, а також для висадження зарядів димного порошу на відкритих гірських розробках з досить великої відстані, безпечної для підривника.

Випускають дві марки електрозапалювачів: марку ЕЗ-ВШ-П у паперовій гільзі (рис. 3.15) і марку ЕЗ-ВШ-М у металевій гільзі (рис. 3.16). Паперова гільза має довжину 60–70 мм і внутрішнім діаметром 5,8–6 мм і товщиною стінок близько 1 мм, комплектується з обох кінців зміцнювальними алюмінієвими кільцями, одне з яких скріплює гільзу з вивідними проводами, які з'єднані з електрозапалювачем, що розміщений у паперовій втулці.

Металева гільза ЕЗ-ВШ-М має такі ж розміри, як і паперова. В одному з її кінців місток накаливання електрозапалювача може бути закріплений жорстко або еластично. Залежно від способу кріплення і довжини вихідних проводів припустимий електричний опір пристрою має бути в межах, які зазначено в табл. 3.6.

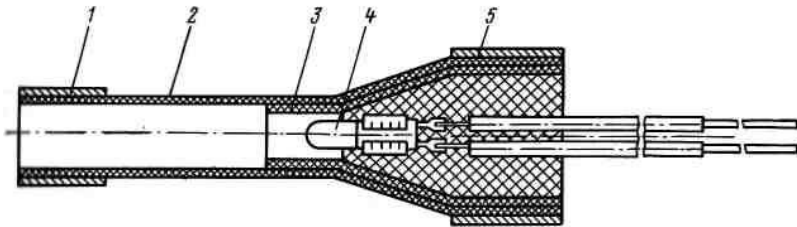


Рис. 3.15. Електрозапалювач вогнепровідного шнура ЕЗ-ВШ-П:

1, 5 – втулки; 2, 3 – гільзи паперові; 4 – електрозапалювач



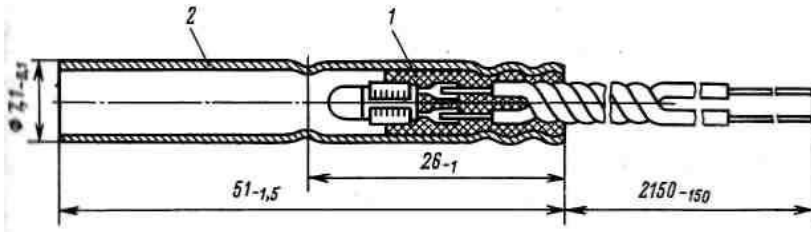


Рис. 3.16. Електрозапалювач вогнепровідного шнура ЕЗ-ВШ-М:  
1 – сталь; 2 – електрозапалювач

Таблиця 3.6

Технічні характеристики електрозапалювачів вогнепровідного шнура

Електрозапалювач	Спосіб кріплення містка накалювання	Електричний опір, Ом
ЕЗ-ВШ-П	Жорсткий	1,6–3,0
ЕЗ-ВШ-МЖ	Жорсткий	1,8–3,0
ЕЗ-ВШ-МЕ	Еластичний	2,0–4,2

**Нормативно-технічні показники ЕЗ-ВШ**

Міцність кріплення проводів в електрозапалювачі має витримувати підвишений до них на висмикування вантаж масою в 1 кг.

Займиста головка не має спрацьовувати від протікання через містки накалювання струму 0,2 А протягом 5 хв.

Надійно спрацьовувати від постійного струму в 1 А при послідовному з'єднанні групи по 20 шт. виробів.

Гарантійний термін зберігання 3 роки.

Завод-виготовлювач гарантує ймовірність безвідмовної роботи ЕЗ-ВШ, дорівнює 0,9998 при довірчій ймовірності 0,95.

Пристрої ЕЗ-ВШ мають витримувати трясіни в тім же режимі і за такою ж методикою, як й електродетонатори, без порушення їхньої конструкції, а після цього безвідмовно спрацьовувати. Припустимі температурні умови зберігання і застосування:  $-40 \dots +50$  °С. Дозволяється транспортувати і зберігати ЕЗ-ВШ, що упаковані в картонні коробки або поліетиленові мішки. За ступенем небезпеки при роботі (зберігання, перевезення, доставка на місце роботи, використання тощо) належать до класу 1, підклас 1.4, група сумісності G згідно з ЄПБ.

### Електрозапалювальна трубка

Для електровогневого способу висадження одиночних зарядів з необхідним часом уповільнення при веденні вибухових робіт на денній поверхні та у шахтах, не небезпечних за газом і пилом, застосовують електрозапалювальні трубки ЕЗТ-2.

За конструкцією вони аналогічні пристрою ЕЗ-ВШ. У їхній гільзі з одного кінця розміщено електрозапалювач із вивідними проводами і запалювальна сполука у чашечці, а з іншого – відрізок ВШ довжиною 300–340 або 620–680 мм, що торцем впритул примикає до запалювальної сполуки. На місці вибухових робіт вільний кінець відрізка ВШ вставляють у гільзу КД-8С, що поміщають у заряд ВР. Прийнята довжина цього відрізка виконує роль уповільнювача процесу вибуху. Комплектуючі елементи трубки ЕЗТ-2 (відрізки ВШ потрібної довжини і електрозапалювач) на вимогу споживача можуть бути поставлені роздільно. Довжина вивідних проводів трубки може бути 2,0; 2,5; 3,5 і 4 м.

Електричний опір ЕЗТ-2 при довжині вивідних проводів від 2 до 3 м нормовано в межах 1,8–3 Ом і при довжині 3,5–4 м – 1,8–3,6 Ом. Безпечний струм не вище 0,2 А. Трубки з'єднані послідовно в групи по 20 шт.; мають за нормативами безвідмовно спрацьовувати від постійного струму 1 А та перемінного – 2,5 А. Скомплектовані в партію ЕЗТ-2 на заводі в процесі приймально-здавальних випробувань також піддаються трясінню в тих же умовах, що і вироби ЕЗ-ВШ, зовнішньому огляду і випробуванню на безвідмовність спрацьовування після трясіння.

Відправлення трубок здійснюють у поліетиленових мішках-вкладишах у ящиках разом з контактними затискачами та інструментом з застосування трубок. Їх перевозять і зберігають, як і ВШ. Гарантійний термін зберігання 1 рік.

### Гніт запалювальний тліючий

Застосовують для запалювання вогнепровідних шнурів при веденні вибухових робіт вогневим способом.

Випускають дві марки гноту – ГЗТ-1 і ГЗТ-2, що відрізняються швидкістю горіння (тління), обумовленою різною кількістю ниток бавовняної пряжі в їхній серцевині. Для загоряння гнота від полум'я сірника і незатухаючого тління пряжу просочують розчином калієвої селітри. Для зовнішнього розпізнання оплітка ГЗТ-1 не офарбовується (має натуральні кольори пряжі), а ГЗТ-2 пофарбована в жовті кольори. Нормативно-технічні характеристики наведено в *табл. 3.7*.

**Технічні характеристики запалювального гноту**

Показник	Марка гноту	
	ГЗТ-1	ФТЗ-2
Діаметр гноту, мм	6	7-8
Кількість ниток, шт.:		
у сердцевині	26-30	30-40
в оплітці	24	40
Довжина гноту в бухті, м	49-50	49-50
Масова частка вологи (не більше), %	7,0	7,0
Час горіння (тління) відрізка довжиною 250 мм у будь-якому положенні при затишності, хв.	25-50	37-62
Гарантійний термін зберігання гноту, рік	1	2

Гарантується безпека загорання від сірника або іншого джерела полум'я, повне згорання (тління) випробуваного відрізка гноту при навколишній температурі  $\pm 50$  °С. Гніт до удару не чутливий і не належить до вибухових матеріалів.

Пачки гноту упаковують по 5 шт. у поліетиленовий мішок-вкладиш, вкладений у ящик. Продукцію зберігають у сухому складі.

### **3.6. Проміжні детонатори**

Проміжні детонатори (ПД) застосовують для надійного ініціювання зарядів промислових ВР, які недостатньо або зовсім несприйнятливі до детонації від розглянутих вище ЗІ. Їх виготовляють у вигляді пресованих і литих шашок із БВР або ж застосовують у якості ПД стандартні патрони амоніту або амоналу. Для того, щоб початок детонації в заряді ВР був надійним і з малою ділянкою розгону, ПД мають мати великий питомий запас енергії та детонувати зі швидкістю більшою, ніж оптимальна швидкість детонації заряду, що ініціюється, що обумовлює імпульс ударної хвилі необхідних параметрів. Досить високі параметри детонації мають пресовані шашки з гексогену або його сплаву із тротилом (литі), а також литі шашки із тротилу, що мають високу щільність. Однак перші дві підвищено небезпечні при їхньому виробництві і застосуванні, а останні недостатньо чутливі до серійних засобів ініціювання (КД № 8 і ДШ) нормальної потужності, крім того, технологія відливання тротилових шашок менш продуктивна, ніж пресування на автоматичних пресах.

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури

Тому широко застосовується на відкритих роботах пресована тротилова шашка марки Т-400М (рис. 3.17, а) циліндричної форми із центральним каналом під пучок з 4 ниток ДШ, рідше – лита шашка марки ТГ-500 (рис. 3.17, б) зі сплаву тротилу з гексогеном такої ж форми. У ряді випадків також застосовують пресовані шашки із тротилу прямокутної форми із гніздом під КД або ЕД, основне призначення яких – геофізичні або сейсморозвідувальні роботи на денній поверхні, де їх використовують як заряди в неглибоких шурфах при створенні сейсмічних хвиль у досліджуваній породі. Для роботи в гірських умовах ці шашки можна виготовляти без гнізда під КД.

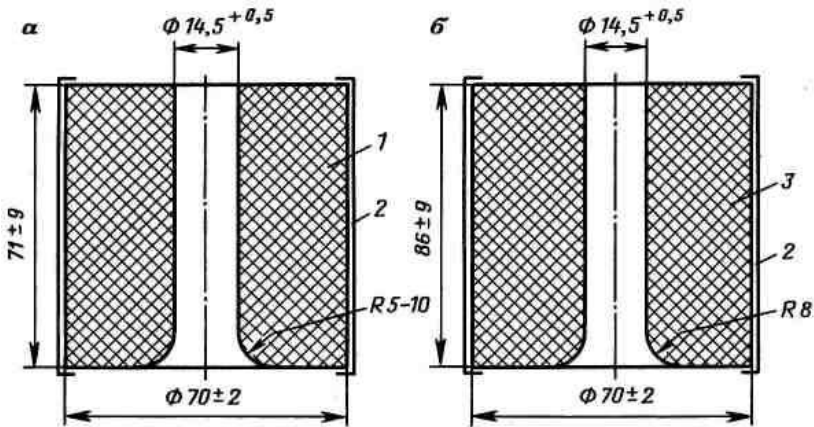


Рис. 3.17. Шашки-детонатори марки Т-400М (а)  
і ТГ-500 (б) для вибухових робіт:

1 – тротил пресований; 2 – оболонка паперова;  
3 – сплав тротилу з гексогеном

Для ініціювання сучасних малочутливих гранульованих і водомістких ВР мінімальний ініціувальний імпульс можуть забезпечити дані шашки, що використовуються, в основному, на відкритих роботах. У шахтах, не небезпечних за газом і пилом, їх застосовують у виняткових випадках, головним чином, через складність розміщення їх у шпурах, які заряджають пневматичними зарядниками. Крім того, шашки для підземних робіт не підходять через утворення шкідливих газів при вибуху, оскільки їх ВР не збалансовано за киснем. При сучасних способах висадження шпуровими зарядами як проміжний детонатор часто застосовують

звичайні стандартні патрони з амоніту 6ЖВ необхідного діаметра і маси. Патрони досить безпечні в експлуатації та безвідмовно ініціюються від ДШ нормальної потужності при відповідному їхньому монтажі на місці застосування в патрон-бойовик.

За замовленням споживачів можуть поставлятися патрони-бойовики діаметром 60 мм і масою 1,5 кг і патрони в поліетиленовій оболонці.

Із проміжних детонаторів найбільшу ініціюючу здатність та вологостійкість має шашка ТГ-500, оскільки вона має більшу масу, високі щільність і швидкість детонації. У її виливку відсутні пори, що виходять назовні. Пресовані шашки з лускованого тротилу пористі, усмоктують у себе вологу, що знижує їхню чутливість до ДШ. Шашку Т-400М для збільшення механічної міцності обертають по бічній поверхні папером, для підвищення водостійкості гідроізолюють по всій поверхні парафіно-петролатумною мастикою, паперову обгортку шашок марки ПТ і патронів-бойовиків для вологостійкості парафінують, шашку ТГ-500 відливають у паперову гільзу без гідроізоляції.

Шашки і патрони-бойовики впаковують у ящики з гофрованого картону і поставляють споживачеві як ВМ 1 класу небезпеки при роботі з ними, групи сумісності, Д згідно з ЄПБ при вибухових роботах, з гарантійним терміном зберігання шашок 2 роки, патронів-бойовиків 0,5 року або 1 рік залежно від ступеню герметичності пакування.

Розглянемо докладніше деякі особливості розробки ПД для ПВР. Спочатку виконується підбір ВР, чутливих до ініціюючого імпульсу однієї або декількох ниток детонуючого шнура з масою ВР 2–14 г у серцевині при витримці детонаторів у воді і лужних середовищах із рН 12 до 30 діб. Такі ПД мають забезпечувати повну детонацію гранульованих, водонаповнених і порошкоподібних ВР.

Установлено, що пресовані шашки із тротилу, ТГ-90/10 і ТГ-80/20 зберігають свою працездатність після витримки в лужному середовищі (рН 12) протягом 4 діб. Після витримки в середовищі із рН 12 більше 4 діб (до 10) стійко детонують шашки тільки з пентоліту.

Введення до складу ВР гідрофобного стеарату кальцію і покриття поверхні шашки парафіном, парафіном з петролатумом або 52 %-им луго-каніфольним, або 40 %-им лужним лаком показало, що 1 % стеарату кальцію або покриття 40 %-им лужним лаком забезпечує збереження чутливості шашок до імпульсу ДШ при витримці їх у воді до 14 діб.

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури

---

Природно, що метод гідрофобізації вимагає попередньої підготовки шашок і може бути рекомендований тільки для приготування їх із суміші тротилу з гексогеном, коли змішування компонентів неминуче. При виготовленні шашок з однорідних ВР більш раціонально покривати шашки лаком після пресування.

При проведенні випробувань виконується паралельна оцінка ПД сухих і тих, що витримані протягом 14 діб у кар'єрній воді з додаванням у неї дизельного палива (до 6 %). Повноту детонації шашок, що ініціюються шнуром ДШ-А, визначають за величиною вивр у ґрунті і кількістю залишків як самих проміжних детонаторів, так і зарядів ВР, які вони підривають. Випробування показали, що після витримки в кар'єрній воді протягом 14 діб тільки пентолитові і тетрилові шашки, покриті 40 %-им лужним лаком, здатні ініціюватися від ДШ-А.

Для більшості промислових ВР застосовувати штатні ДШ із ВР масою 12–14 г не рекомендується, оскільки не виключено небажане ініціювання шнуром колонки заряду ВР у режимі дефлаграції, тобто донне ініціювання за допомогою цих детонаторів у багатьох випадках не забезпечується, що значно знижує ефективність вибухових робіт і використання потенційної енергії ВР.

Установлено, що детонуючий шнур із ВР масою 1–2 г навіть у практично сухих свердловинах не викликає хімічного перетворення більшості промислових ВР.

Напруга стиску, що виникає при ударі детонатора під час його розміщення в свердловині глибиною 30–40 м, може перевищити межу міцності шашок, що може стати причиною руйнування, а отже, відмови спрацьовування свердловинного заряду.

При створенні механічно міцних детонаторів, що надійно спрацьовують після тривалого знаходження в кислотно-лужних середовищах або в розчинах аміачної селітри, був досліджений корпусний герметичний ПД, що складається із пластмасового корпусу, шашки ВР, малопотужного водостійкого детонуючого шнура, фіксатора його в корпусі, підсилювача (проміжної шашки) з високобризантною ВР.

Для оптимального режиму ініціювання швидкість детонації в шашці ПД не має перевищувати 20–30 % швидкості від колонкового основного заряду ВР, тобто за ВР шашки можуть застосовуватися недефіцитні аміачно-селітряні ВР типу 6ЖВ.

Для визначення ступеню впливу на працездатність ПД різних факторів, крім врахованих при теоретичному розрахунку, додатково

експериментально перевіряють їхню ініціюючу здатність. При цьому більш ефективно використати різні методи визначення. Крім осцилографічного методу, де ініціювання може здійснюватися як ударною хвилею, так і продуктами детонації, використовується ще "картковий" метод, у якому ініціювання пасивного заряду здійснюється тільки ударною хвилею, без безпосереднього впливу на заряд продуктів детонації ініціатора (шашки).

Пасивний заряд (ВР) від активного (ПД) при "картковому" методі відокремлюється набором металевих пластин. Надійне ініціювання зарядів ВР – детонітів, амонітів, грамонітів 79/21 Б і грамоналу А-8 – досягається ПД із шашкою масою 50 г; грамонітів 50/50 В, 79/21 В та 30/70 – масою 100 г; гранулололу та алюмотолу – 150 г. У цілому надійне ініціювання початку детонації зарядів всіх гранульованих ВР забезпечується ПД із шашкою масою 300 г, крім гранулітів С-2, М та ігданітів, а імпульсу ПД-400 досить для всіх перерахованих вище ВР, крім двох останніх. За несприятливих умов відмови можливі при ініціюванні зарядів не тільки ігданіту і гранулітів М та С-2, але й грануліту АС-4.

Нестабільність властивостей гранулітів та ігданітів загальновідома, тому детонатори для них обираються за максимальним критичним імпульсом. Безвідмовне ініціювання початку детонації в зарядах гранулітів та ігданіту досягається при застосуванні ПД із шашкою масою 600–800 г. За сприятливих умов при ініціюванні їх детонаторами Т-400 відмов може не бути.

Трилової безкорпусні шашки менше флегматизуються у воді і кислому середовищі, більше – у лужному, а пентолитові, навпаки, менше – у лужному, більше – у розчині аміачної селітри. Тетрилові шашки інтенсивно флегматизуються в розчині аміачної селітри. У цілому знаходження в розчині аміачної селітри пентолитових і тетрилових шашок більше 10 діб призводить до значної втрати їхньої чутливості.

### **3.7. Шнурові кумулятивні заряди**

Шнурові кумулятивні заряди призначені для різання трубопроводів, великогабаритних металевих споруджень (резервуарів, доменних печей, хімічних реакторів, корпусів кораблів, літаків тощо) та інших металоконструкцій.

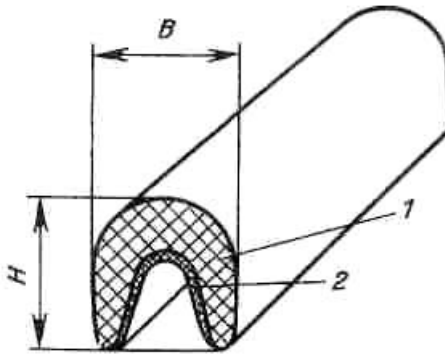
В Україні розроблені і випускаються наступні заряди для різання металів:

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури

- шнуровий кумулятивний (ШКЗ);
- кумулятивний лінійний (ЗКЛ);
- подовжений кумулятивний (ПКЗ).

Шнуровий кумулятивний заряд легко гнеться за будь-яким профілем і легко ріжеться на частини необхідної довжини. Має високу надійність дії та миттєво ріже металеві й неметалеві матеріали.

ШКЗ являє собою заряд еластичної ВР із облицьованою кумулятивною виїмкою (рис. 3.18); виготовляється шести модифікацій, з бухтами довжиною до 50 м (табл. 3.8).



**Рис. 3.18. Шнуровий кумулятивний заряд (ШКЗ):**

1 – заряд; 2 – кумулятивне облицьовання; H – висота; B – ширина

Таблиця 3.8

#### Технічні характеристики шнурових кумулятивних зарядів

Марка заряду	Габаритні розміри, мм	Товщина перешкоди (сталь 3), мм	Марка заряду	Габаритні розміри, мм	Товщина перешкоди (сталь 3), мм
ШКЗ-1	9×9	4	ШКЗ-4	21×21	13
ШКЗ-2	13×13	7	ШКЗ-5	28×28	17
ШКЗ-3	17×17	9	ШКЗ-6	32×32	23

При спрацьовуванні ШКЗ частина енергії вибуху за рахунок кумулятивної виїмки концентрується в одному напрямку та утворює струмінь, що складається з металу, ударних хвиль і продуктів



детонації. Кумулятивний струмінь рухається з великою швидкістю і перерізає перешкоди.

Для ініціювання ШКЗ використовують електродетонатори і капсулі-детонатори.

Застосування ШКЗ разом з ЕД-24 та автономними приладами ініціювання УВВ-1 і контролю Р-214 забезпечує:

- високу безпеку технології монтажу в будь-яких умовах із захистом від зарядів статичної електрики, блукаючих струмів, які виникають в зоні енергоустановок тощо;
- універсальність і автономність методу, оскільки можливо його використання в будь-яких кліматичних зонах, на будь-якій місцевості, у тому числі і за відсутності джерел електроживлення, палива тощо;
- низьку трудомісткість пропонованої технології, мінімальна ручна праця і, як наслідок, висока результативність за продуктивністю, порівняно із традиційними способами; можливість у перспективі механізації й автоматизації процесу монтажу і різання.

Продуктивність способу і заснованої на ньому технології в основному, обмежується часом на підготовку виробництва, нормами і вимогами безпеки.

За ступенем небезпеки при роботі з ними ШКЗ належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності D. За умовами застосування ШКЗ належать до класу С, група 1.

Термостійкі проміжні детонатори виготовляють із гексогену або октогену залежно від температурних умов їхнього застосування. Вони призначені для передачі вибухового імпульсу заряду ВР у перфораторах, які використовують у нафтових і газових свердловинах.

Випускають наступні типи, що використовуються в різних умовах високих температур, які вони мають витримувати протягом 5 год.:

- ДП-1С (рис. 3.19) – до 170 °С;
- ДП-2С (рис. 3.19) – до 110 °С;
- ДП-200 (рис. 3.20) – до 200 °С;
- ДПТ-250 (рис. 3.21) – до 250 °С.

За нормативними показниками всі вони мають витримувати трясіння в умовах, передбачених для КД і ЕД; мати ініціюючу здатність, що забезпечує пробивання у свинцевій пластині товщиною 6 мм наскрізного отвору діаметром, не меншим за власний; ДП-1С, ДП-2С і ДП-200 мають безвідмовно детонувати від шнура ДШТ-200, а

### Розділ III. Детонуючі та вогнепровідні шнури

ДПТ-250 від заряду ПДЗТ-250 з імовірністю 0,99 при довірчій імовірності 0,95.

Проміжні детонатори упаковують у картонні коробки і дерев'яні ящики і поставляють споживачам з гарантійним терміном зберігання 5 років. За ступенем небезпеки при роботі з ними (зберігання, перевезення, доставка на місце робіт, використання тощо) ДП належать до класу 1, підклас 1.1, група сумісності D згідно з ЄПБ .

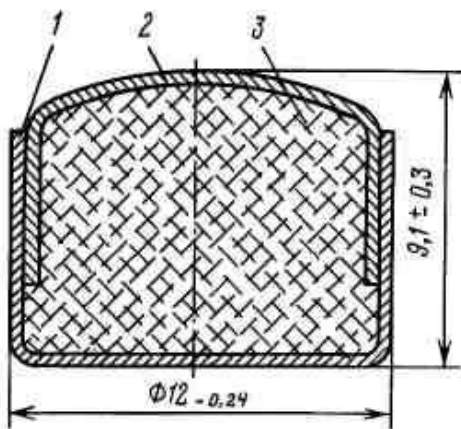


Рис. 3.19. Детонатор проміжний ДПС-1 (ДПС-2):

1 – ковпачок; 2 – чашечка; 3 – БВР

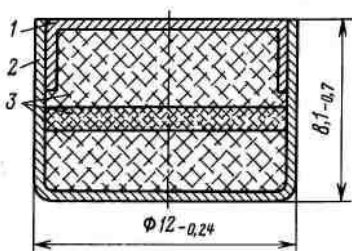


Рис. 3.20. Детонатор проміжний  
ДП-200:

1 – чашечка; 2 – ковпачок;  
3 – БВР

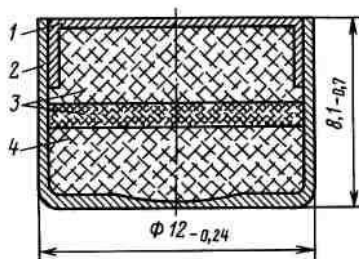


Рис. 3.21. Детонатор проміжний  
термостійкий ДПТ-250:

1 – чашечка; 2 – ковпачок;  
3 – БВР; 4 – ІВР

## Розділ IV НЕЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА ІНІЦІУВАННЯ

### 4.1. Існуючі неелектричні системи ініціювання

З неелектричних систем висадження найбільш широкого визнання в багатьох країнах набула система "Нонель" фірми "Нитро-Нобель", Швеція. Вона складається з детонатора миттєвої або короткоуповільненої дії, трубки "Нонель" для передачі ударно-хвильового імпульсу, детонатора-стартера і сполучного блока. Принципово новим елементом цієї системи є її трубка, на внутрішню поверхню якої нанесений тонкий шар високодисперсного ВР масою всього лише 17–20 мг на метр. Зовнішній діаметр цієї пластикової трубки 3 мм, внутрішній – 1,5 мм. При вибуховому горінні шару ВР у трубці поширюється слабка ударна хвиля зі швидкістю 1900 м/с. Ініціювання трубки може здійснюватися штатними засобами – електродетонатором, капсулем-детонатором, детонуючим шнуром. Імпульс ударної хвилі, що утворюється в трубці, настільки слабкий, що не руйнує її стінок і не здатний ініціювати жодну із промислових вибухових речовин, розміщених безпосередньо на контакт з трубкою. Це має важливе практичне значення при вибухових роботах при так званому донному ініціюванні зарядів ВР, коли трубка проходить через весь заряд до ПД, який розташований в нижній частині заряду.

Капсуль-детонатор системи "Нонель" за конструкцією аналогічний штатному електродетонатору типу ЕДКЗ, тільки ініціювання його уповільнювача виконується не електрозапалювачем, як в ЕДКЗ, а високотемпературною тепловою хвилею по трубці. Час із КД може за необхідністю становити від 25 мкс до 2 хв. із інтервалом з 25, 100, 150 мкс.

Нині система "Нонель" містить у собі поверхневі і свердловинні капсулі-детонатори із уповільненням без ІВР, тобто підвищеної безпеки до механічних впливів.

При висадженні зарядів у глибоких свердловинах відгалуження трубок від магістралі системи "Нонель" можуть для більшої надійності бути подовжені відрізками ДШ, наприклад, марки "Примадет" з масою ВР 1 г/м, що характеризуються також малим імпульсом ударної хвилі, отже не здатним ініціювати заряд ВР у радіальному напрямку.

## Розділ IV. Неелектрична система ініціювання

---

У практиці гірських робіт США і Канади останніми роками стали застосовуються також і інші неелектричні системи, наприклад, система "Анодет", що містить проміжний детонатор уповільненої дії, розташований безпосередньо в свердловині та ініціюється шнуром малої потужності (маса ВР 0,8–1,5 г). З'єднання малопотужного шнура (дільничного) з магістральною лінією здійснюється за допомогою сполучного блока.

Така система має істотну перевагу перед системою висадження, у якій уповільнювач (піротехнічне реле часу) розташований на поверхні масиву гірської маси, тобто при цьому не виключається ушкодження ДШ через передчасний рух гірських порід, а отже, можливі відмови в спрацьовуванні зарядів зі усіма негативними наслідками.

Аналогічні трубки розробили і використовують у системі "Ексел" фірми "Ай-Сі-Ай" (Канада) і в системі "Примадет" фірми "Інсайн-Бікфорд" (США).

При застосуванні системи "Анодет" виключається ушкодження ДШ через передчасний рух гірських порід, оскільки імпульс до уповільнювача, трансльований через ДШ, передається уповільнювачу значно раніше, ніж може початися рух гірської породи. Мала потужність детонуючого шнура системи "Анодет" виключає радіальне ініціювання свердловинного заряду ВР.

З 1980 р. США почали застосовувати неелектричну систему ініціювання "Геркудет", в якій передача ударного імпульсу до КД, розміщеного в заряді ВР, здійснюється через дві пластикові трубки, по одній з яких подається пальне, по іншій – окислювач. Швидкість детонації суміші цих газів становить 2400 м/с. Капсуль-детонатор системи має уповільнювач від 50 мс до 12,8 с, а кількість ступенів уповільнення становить 29.

За конструкцією КД системи аналогічний штатним КД. Максимальна кількість одночасно свердловинних зарядів, що підриваються при застосуванні "Геркудет" сягає 640, глибина свердловин – до 64 м, довжина мереж із пластикових труб – до 11 км.

Система "Геркудет" – єдина з неелектричних систем ініціювання, що дозволяє проводити перевірку змонтованої мережі на цілісність безпосередньо перед вибухом шляхом фіксування падіння тиску в системі.

В Росії розроблено неелектричну низькоенергетичну систему ініціювання (НСІ) миттєвої дії.

Конструкція пристрою низькоенергетичної системи ініціювання (НСІ) складається із детонуючого шнура низької енергії з масою

серцевини 1,5 г на 1 м з еластичного ВР ("Детон"), двох наконечників-підсилювачів без ініціюючої ВР (один з них приймає і підсилює детонаційний імпульс від магістрального ДШ, другий – для передачі детонаційного імпульсу проміжному детонатору), сполучного елемента для приєднання наконечника-підсилювача з магістральним ДШ і проміжного детонатора ЗДЕ-300 з еластиту або з перехідним ПД для монтажу із шашкою Т-400М. Система проходить промислові випробування.

Розроблено нову російську неелектричну систему ініціювання на основі зборки детонаторів неелектричної (СДБІ) без ІВР.

Розроблено також і проходять перевірки російські неелектричні системи ініціювання типу "Нонель" (Швеція) на основі ударно-хвильової трубки (детонуючого хвилеводу) і детонаторів без ІВР (системи "Едилін" і "СІНВ").

Основні параметри системи ініціювання на основі ударно-хвильової трубки і детонатора без ІВР – міцність конструкції, водостійкість, тимчасові характеристики задовольняють сучасним технічним вимогам до систем ініціювання для гірничорудної промисловості.

### 4.2. Вітчизняна неелектрична система ініціювання

Неелектрична система ініціювання "Імпульс" (система "Імпульс") – водостійка, підвищеної безпеки, призначена для ведення вибухових робіт на земній поверхні, а також на підземних рудниках і вугільних шахтах, де допущене застосування незапобіжних ВР II класу (елементи показані на *рис. 4.1*).

Система "Імпульс" розроблена в Україні Казенним підприємством "Шосткінський казенний завод "Імпульс" разом з Державним науково-дослідним інститутом хімічних продуктів України (ДержНДХП) і Державним науково-дослідним інститутом безпеки праці і екології в гірничорудній і металургійній промисловості України (НДІБПГ). Система пройшла весь цикл промислових випробувань на гірничорудних підприємствах України і допущена Держпромнаглядом України до постійного застосування для вибухових робіт на земній поверхні, а також на підземних рудниках і вугільних шахтах, де допущене застосування незапобіжних ВР II класу, ліцензія серія АВ № 020909 [19, 20].

Система "Імпульс" має наступні переваги:

## Розділ IV. Неелектрична система ініціювання

---

- високий рівень керованості масовими вибухами, що досягається за рахунок використання індивідуальної затримки кожного свердловинного заряду;
- ефективне використання донного ініціювання свердловинних зарядів, оскільки хвилевід, який використовується у системі, не має бічного енерговиділення і несприятливо не впливає на свердловинний заряд;
- виключення можливості зворотного ініціювання від свердловинного заряду в поверхневу підривно мережу;
- виключення підбивки підривної мережі і можливість оптимізації поверхневих уповільнень;
- нечутливість до електричних і електромагнітних впливів;
- стійкість до механічних впливів завдяки своїм конструктивним особливостям;
- низький сейсмічний ефект, що забезпечується різночасністю спрацьовування свердловинних зарядів.

У цілому система "Імпульс" забезпечує істотне підвищення ефективності і безпеку ведення вибухових робіт.

### 4.3. Опис вітчизняної НСІ та її пристроїв

Система [19, 20] складається з поверхневого ініціюючого пристрою і уповільненням, що виготовляється у двох варіантах: УНС-П і з'єднувачем під шість хвилеводів або УНС-ПА із з'єднувачем під п'ять хвилеводів, свердловинного ініціюючого пристрою із уповільненням УНС-С і стартового пристрою.

Пристрої УНС-С і УНС-П являють собою детонатор із уповільненням, що не містить ініціюючих ВР, герметично з'єднаний за допомогою гумової втулки з відрізком хвилеводу певної довжини.

Пристрій системи УНС-ПА являє собою капсуль-детонатор, що містить незначну кількість ініціюючої сполуки, поміщеної в товстостінну металеву втулку, що герметично з'єднана за допомогою гумової втулки з відрізком хвилеводу певної довжини.

Хвилевід пристроїв системи "Імпульс" являє собою еластичну багатощарову пластикову трубку. На внутрішню поверхню трубки нанесений детонуюча сполука (ДС), ініціювання якої призводить до утворення ударної хвилі, що поширюється по внутрішньому каналу хвилеводу зі швидкістю 2100 м/с. Ударна хвиля має достатню силу, щоб ініціювати уповільнюючий елемент детонатора, але недостатню, щоб розірвати хвилевід системи "Імпульс".

Зовнішній вигляд пристроїв показаний на *рис. 4.1–4.4.*



**Рис. 4.1. Елементи НСІ "Імпульс"**



**Рис. 4.2. Пристрій УНС-ПА**



**Рис. 4.3. Пристрій УНС - П**



Рис. 4.4. Пристрій УНС-С

Хвилевід для пристроїв системи УНС-П, УНС-ПА виготовляється синіх кольорів, а для УНС-С – червоних. За замовленням споживача хвилевід може бути будь-якої довжини і іншого кольору.

Зовнішній діаметр хвилеводу становить 3,5 мм, маса ДС – 25 мг/м. Зусилля на розрив не менше 200 Н.

Капсуль-детонатор являє собою біметалічну або сталеву гільзу з антикорозійним покриттям, усередині якої розміщений уповільнюючий елемент, що ініціює основний заряд.

Ініціюючий елемент виконаний без використання ІВР у пристроях УНС-С і УНС-П.

Довжина гільзи пристроїв УНС-П і УНС-ПА – 51 мм, пристроїв УНС-С – 95 мм.

Маса основного заряду в КД із уповільненням пристроїв УНС-С становить 1,6 г, пристроїв УНС-П – 0,5 г, УНС-ПА – 0,2 г.

Для герметичного з'єднання КД із хвилеводом використовується гумова трубка. Фіксація здійснюється методом обтискання шестизиговою цангою для пристроїв УНС-С і п'ятизиговою – для пристроїв УНС-П і УНС-ПА.

Вільний кінець хвилеводу герметизують пайкою, витки хвилеводу скріплені паперовою стрічкою, що легко розривається при використанні пристроїв.



#### 4.4. Монтаж неелектричної системи ініціювання, виготовлення проміжних детонаторів

##### 4.4.1. Схема розміщення НСІ у вибої

При монтажі системи "Імпульс" всі свердловини заряджають пристроями УНС-С із однаковим часом уповільнення. Послідовність спрацювання забезпечується за допомогою пристроїв УНС-ПА або УНС-П [20].

Приклад монтажу показано на *рис. 4.5*.

У свердловинах установлені пристрої УНС-С-450 з часом уповільнення 450 мс.

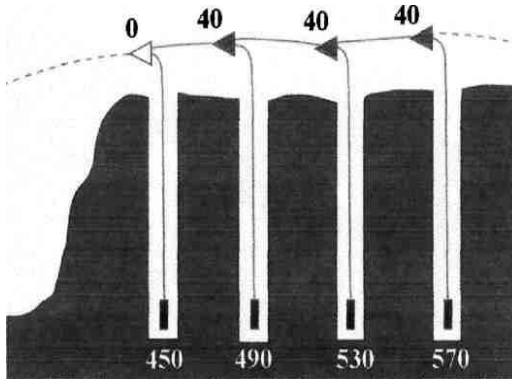


Рис. 4.5. Приклад монтажу системи "Імпульс"

Вільні кінці хвилеводу закріплені в сполучних пристроях УНС-ПА або УНС-П. Як стартовий пристрій використовують УНС-ПА-0 або УНС-П-0 з часом уповільнення 0 мс.

Уповільнення між рядами забезпечується пристроями УНС-ПА-40 або УНС-П-40 з часом уповільнення 40 мс. Відповідно до цього свердловина першого ряду вибухне через 450 мс, другого – через 490 мс, третього – через 530 мс і так далі.

До моменту вибуху свердловини першого ряду ініціюючий сигнал досягне КД пристрою УНС-С-450, що перебуває в свердловині одинадцятого ряду і КД пристрою УНС-ПА-40 або УНС-П-40, що перебуває в свердловині дванадцятого ряду. Тому ризик ушкодження хвилеводу пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С у результаті руху і розльоту гірської маси практично виключається.

## Розділ IV. Неелектрична система ініціювання

---

Час поверхневих уповільнень за наявності внутрішньо-свердловинного уповільнення може бути істотно збільшений.

Для забезпечення високої ефективності висадження бойовики (проміжні детонатори) із пристроями УНС-С рекомендується розміщати в донній частині свердловинного заряду. Хвилевід системи не має бічного енерговиділення, тому вигорання свердловинного заряду або зниження його чутливості, що виникає при застосуванні детонуючого шнура, фактично виключається.

При висадженні в складних умовах (велика група свердловин, обводненість, використання низькочутливих ВР у свердловинних зарядах) здійснюється дублювання свердловинних вибухових ланцюгів. У свердловині розміщують два проміжні детонатори: перший – у донній частині свердловинного заряду, другий – у гирловій.

Для забезпечення "донного" ініціювання при дублюванні час із пристроєм, розміщеного в гирловій частині свердловини, має бути на один ступінь більший, ніж час із пристроєм, встановленого в донній частині свердловини.

Загальні правила монтажу системи "Імпульс" при роботах на земній поверхні:

1. Довжини хвилеводу пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С мають обиратися відповідно до глибини свердловин і розмірів сітки буріння з урахуванням того, що частина довжини хвилеводу використовується для з'єднань.

2. Пристрої УНС-ПА або УНС-П і УНС-С із ушкодженими хвилеводами до використання не допускаються.

3. Контроль свердловинних уповільнень має проводитися безпосередньо при заряджанні свердловин, оскільки в процесі заряджання маркування може бути затерто.

4. Хвилеводи пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С мають бути злегка натягнуті.

5. З'єднувачі пристроїв УНС-ПА або УНС-П мають розташовуватися поблизу свердловин.

6. Довжина активної частини хвилеводу (відрізок хвилеводу пристроєм від місця ініціювання до КД) має бути не менше 60 см.

7. Довжина пасивної частини хвилеводу (відрізок хвилеводу від місця ініціювання до вільного кінця має бути не менше 8 см).

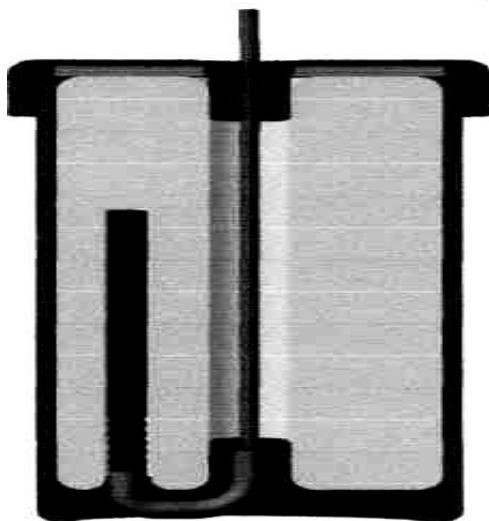
8. При використанні в поверхневій вибуховій мережі детонуючого шнура і піротехнічних реле, детонуючий шнур має

торкається хвилеводу тільки в місці ініціювання. З'єднання має здійснюватися за допомогою спеціального з'єднувача.

#### 4.4.2. Виготовлення проміжних детонаторів

Як проміжні детонатори при використанні НСІ "Імпульс" можуть застосовуватися шашки типу ЗТП-800, ЗТП-1200, що мають спеціальне посадкове місце під КД і наскрізний канал під ДШЕ-12. Такі шашки більш ефективні при висадженні за допомогою системи "Імпульс".

Схема з'єднання шашок ЗТП-800, ЗТП-1200 наведена на *рис. 4.6*.



**Рис. 4.6. Схема з'єднання пристрою УНС-С з шашками ЗТП-800; ЗТП-1200**

КД пристрою УНС-С повністю поміщають у глухий канал шашки (посадкове місце під КД), а кінець гумової втулки із хвилеводом розміщують у каналі, що охороняє хвилевід від перетирання.

Крім шашок, як проміжний детонатор можуть використовуватися заряди з амоніту 6ЖВ. При використанні шашок типу Т-400М КД пристрою УНС-С розміщається в каналі. Вільне місце в каналі має заповнюватися трьома нитками детонуючого шнура ДШЕ-12. Схема з'єднання пристрою УНС-С із шашкою Т-400М показана на *рис. 4.7*.

#### 4.4.3. Схеми ініціювання

Використовуючи пристрої УНС-ПА або УНС-П з різним часом уповільнення і з'єднуючи їх у різній послідовності, можна одержати різні схеми ініціювання. Це забезпечує високу керованість процесом вибуху і можливість варіювання схеми ініціювання залежно від характеристик масиву, що підривається, діаметра свердловин і сітки буріння, застосовуваних промислових ВР, необхідної якості дроблення середовища, величини і спрямованості розвалу.



Рис. 4.7. Схема з'єднання пристрою УНС-С з шашкою Т- 400М

На *рис. 4.8* наведена додаткова схема ініціювання з використанням пристроїв УНС-ПА-25 або УНС-П-25.

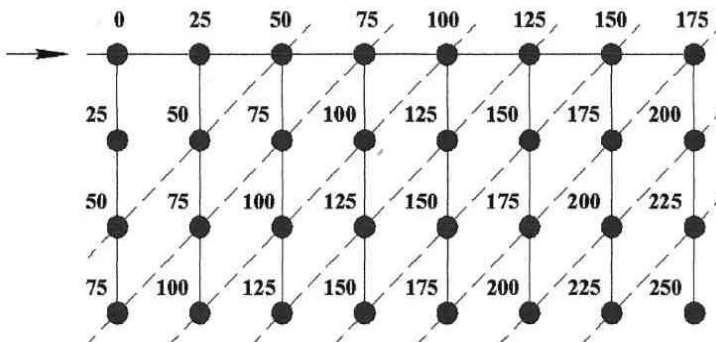


Рис. 4.8. Діагональна схема ініціювання

#### **4.4.4. Застосування НСІ "Імпульс" для підземних робіт**

Система "Імпульс" для підземних вибухових робіт використовується в рудниках і вугільних шахтах, де допущене застосування незапобіжних ВР II класу.

Пристрої УНС-Ш служать для передачі ініціюючого сигналу та ініціювання бойовиків шпурових і свердловинних зарядів із заданою тимчасовою затримкою.

Температурний інтервал застосування від  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , працездатність пристроїв УНС-Ш зберігається після перебування у водному середовищі при тиску 0,1 МПа протягом 6 год.

Додавання кожного метра довжини хвилеводу збільшує час уповільнення пристроїв на 0,5 мс.

#### **4.5. Порівняння вітчизняної НСІ з іноземними аналогами**

Для порівняння із НСІ "Імпульс" обрані найпоширеніші у світі системи ініціювання – "Нонель", "Примадет", "СІНВ" [19, 20].

1. "Нонель", виробництво Швеція.

Капсуль-детонатор свердловинного пристрою НСІ "Імпульс" без первинної ініціюючої вибухової речовини більш безпечний, у порівняно з аналогічним КД НСІ "Нонель" без первинної ІВР.

Так КД НСІ "Імпульс" на безпеку до удару, згідно з ТУ В 24.6-14314452-007:2005, випробовується киданням вантажу масою  $(5,0\pm 0,1)$  кг із висоти  $(5,0\pm 0,1)$  м, а КД НСІ "Нонель", відповідно до стандарту 38 4990707, випробовується киданням вантажу масою 2,0 кг із висоти  $(0,5\pm 0,005)$  м.

КД свердловинного пристрою УНС-С НСІ "Імпульс" пробиває 6 мм свинцеву пластину, згідно з ТУ В 24.6-14314452-007:2005 і відповідає КД № 10, свердловинний детонатор НСІ "Нонель" відповідно до стандарту 38 4990707, відповідає КД № 8. Потужніший КД дозволяє використати більш нечутливі (безпечні) проміжні детонатори, що в цілому відбивається на безпеці ведення вибухових робіт.

Надійність кріплення хвилеводу зі свердловинним КД НСІ "Імпульс" витримує навантаження 8 кг протягом  $(5,0\pm 0,5)$  хв. згідно з ТУ В 24.6-14314452-007:2005. Кріплення хвилеводу зі свердловинним КД НСІ "Нонель" витримує 4 кг протягом 2 хв., згідно зі шведським стандартом 88 4990707. Більш надійне кріплення КД із хвилеводом збільшує надійність системи в цілому.

2. "Примадет", виробництво Іспанія.

## **Розділ IV. Неелектрична система ініціювання**

---

Основний недолік (дуже серйозний) – наявність первинної ініціюючої вибухової речовини у свердловинному КД, що дуже серйозно впливає на безпеку ведення вибухових робіт у цілому.

Температурні умови експлуатації в НСІ "Примадет" до +65 °С, у НСІ "Імпульс" термостійкість до +85 °С, що дозволяє вести вибухові роботи із застосуванням вибухових речовин, що ллюються гарячими, з температурою до +85 °С, наприклад, Україніт ПП-2Б з температурою до +80 °С згідно з ТУ.

3. "СІНВ", виробництво Росія.

Низька якість хвилеводу і системи НСІ "СІНВ" у цілому, а також значний розкид за часом спрацьовування, велика кількість зафіксованих відмов свердловинних зарядів, ініціюємих за допомогою НСІ "СІНВ", робить дану систему найменш ефективною з вище перерахованих.

Розділ V  
ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І  
ДЕТОНАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕЕЛЕКТРИЧНОЇ  
ІНІЦІУЮЧОЇ СИСТЕМИ

5.1. Хвильові ефекти в трубчастому хвилеводі, що детонує

Нижче розглянемо специфічні хвильові ефекти в трубці, що містить на внутрішній поверхні заряд ініціюючої вибухової речовини. Поперечний параметр заряду в первісному стані набагато менший за критичний, але при певному механічному впливі утвориться пилоповітряна вибухова суміш, яка здатна підтримувати й передавати детонаційну хвилю. Оскільки при ініціюванні детонації таких матеріалів можуть генеруватися вибухові хвилі, що мають різні профілі й поширюються з різними швидкостями, важливо проаналізувати умови зародження детонації й вплив параметрів детонаційної хвилі на динаміку оболонки, що її містить. При цьому, як показано в подальших дослідженнях, можуть досягатися критичні значення цих параметрів, за яких розрахункові величини напруг і прогинів в оболонці можуть як необмежено зростати, так і виявлятися інваріантними щодо дії вибухового навантаження.

Розглянемо подовжений циліндричний заряд, що складається із циліндричної оболонки, на внутрішню поверхню якої рівномірно нанесений шар вибухової речовини з товщиною, меншою за критичний діаметр. Такий шар вибухової речовини практично не впливає на механічні властивості оболонки, на яку він нанесений. Тому для дослідження хвиль пружних деформацій у стінці оболонки, за рахунок дії яких розпорошується вибухова речовина, використовуємо рівняння руху циліндричної оболонки для віссиметричного випадку у вигляді (15) з [2]. Використовуючи вираз (16) в [2], виключимо з рівнянь (15) [2] функцію  $\psi$ , що характеризує поворот перетину.

У підсумку одержимо систему двох рівнянь із частками, похідними щодо двох шуканих функцій  $U_1$  і  $U_n$ :

$$\rho_1 h U_1 - \left[ \frac{Eh}{1 - \nu^2} \right] \cdot \left[ U_1'' - \frac{\nu}{R} \cdot U_n' \right] = 0; \quad (5.1)$$

**Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і  
детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

$$\begin{aligned}
 & \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}U_n^{IV} - \frac{\rho_1 h^3}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-\nu^2)} \right] U_n^{II} + \rho_1 h \left[ 1 + \frac{Eh}{12(1-\nu^2)GR} \right] U_n + \\
 & + \frac{\rho_1 h^3}{12G} U_n - \left[ \frac{E^2 h^3}{12(1-\nu^2)GR^2} \right] U_n^{II} + \left[ \frac{Eh}{(1-\nu^2)R^2} \right] U_n + \left[ \frac{E^2 h^2 \nu}{12(1-\nu^2)GR} \right] U_1^{III} - \\
 & - \left[ \frac{\rho_1 E h^3 \nu}{12(1-\nu^2)GR} \right] U_1^I - \left[ \frac{Eh\nu}{R(1-\nu^2)} \right] U_1^I = P_n + \frac{\rho_1 h^2}{12G} P_n - \left[ \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)G} \right] P_n^{II}
 \end{aligned} \quad (5.2)$$

Система (17) в [2] описує динаміку циліндричної оболонки під дією вісесиметричного навантаження  $P_n$ . Вона може бути використана для опису складних механічних явищ, зокрема для вивчення хвиль деформацій, які беруть участь у процесі розпилення вибухової речовини.

Для постановки завдання про поширення в циліндричній оболонці гармонійних хвиль, які повільно рухаються, що порушуються рухливим вибуховим навантаженням, уведемо фазову координату  $X = x - Vt$ , що рухається зі швидкістю  $V$ .

$$\begin{aligned}
 & h \left( \rho_1 V^2 - \frac{E}{1-\nu^2} \right) u_1'' + \frac{Eh}{1-\nu^2} \frac{\nu}{R} u_n'' = 0; \\
 & \frac{Eh^3 \nu}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{E}{1-\nu^2} - \rho_1 V^2 \right) u_1''' - \frac{Eh\nu}{R(1-\nu^2)} u_1' + \\
 & + \left\{ \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} - \frac{\rho_1 h^3}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-\nu^2)} \right] V^2 + \frac{\rho_1^2 h^3}{12G} V^4 \right\} u_n^{IV} + \\
 & + \left\{ \rho_1 h \left[ 1 + \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)GR^2} \right] V^2 - \frac{E^2 h^3}{12(1-\nu^2)GR^2} \right\} u_n'' + \\
 & + \frac{Eh}{(1-\nu^2)R^2} u_n = P_n + \left[ \frac{\rho_1 h^2}{12G} V^2 - \frac{Eh^2}{12G(1-\nu^2)} \right] P_n''.
 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Тоді



$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2}; & \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} &= V^2 \frac{\partial u_1}{\partial x}; \\
 \frac{\partial u_n}{\partial x} &= \frac{\partial u_n}{\partial x}; & \frac{\partial u_n}{\partial t} &= -V \frac{\partial u_n}{\partial x}; \\
 \frac{\partial^2 u_n^2}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 u_n}{\partial x^2}; & \frac{\partial^2 u_n}{\partial t^2} &= V^2 \frac{\partial^2 u_n}{\partial x^2}; \\
 \frac{\partial^3 u_n}{\partial x} &= \frac{\partial^3 u_n}{\partial x^3}; & \frac{\partial^4 u_n}{\partial t^4} &= V^4 \frac{\partial^4 u_n}{\partial x^4}; \\
 \frac{\partial^4 u_n}{\partial x} &= \frac{\partial^4 u_n}{\partial x^4}; & \frac{\partial^2 u_n}{\partial x^2 \partial t^2} &= V^2 \frac{\partial^4 u_n}{\partial x^4}.
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

Враховуючи вираз (5.3), система (17) [2] приводиться до вигляду:

$$\begin{aligned}
 h \left( \rho_1 V^2 - \frac{E}{1-\nu^2} \right) u_1'' + \frac{Eh}{1-\nu^2} \frac{\nu}{R} u_n'' &= 0; \\
 \frac{Eh^3 \nu}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{E}{1-\nu^2} - \rho_1 V^2 \right) u_1''' - \frac{Eh\nu}{R(1-\nu^2)} u_1' + \\
 + \left\{ \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} - \frac{\rho_1 h^3}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-\nu^2)} \right] V^2 + \frac{\rho_1^2 h^3}{12G} V^4 \right\} u_n^{IV} + \\
 + \left\{ \rho_1 h \left[ 1 + \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)GR^2} \right] V^2 - \frac{E^2 h^3}{12(1-\nu^2)GR^2} \right\} u_n'' + \\
 + \frac{Eh}{(1-\nu^2)R^2} u_n = P_n + \left[ \frac{\rho_1 h^2}{12G} V^2 - \frac{Eh^2}{12G(1-\nu^2)} \right] P_n''.
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

Тут штрихами позначено диференціювання за змінною  $X$ .

Система рівнянь (5.4) описує динаміку циліндричної оболонки під дією рухливого вісесиметричного навантаження  $P_n$ . Ця система є більше складною, порівняно з відомими, оскільки містить похідні від інтенсивності навантаження  $P_n$ , що дозволяє більш точно описати вплив характеру вибухових і детонаційних хвиль на коливання оболонки.

## 5.2. Поширення вільних хвиль уздовж осьової лінії циліндричної оболонки

Для більш повного опису механізму поширення хвиль по циліндричній оболонці слід вивчити характер поширення власних гармонійних хвиль у циліндричній оболонці.

Рух власних хвиль у циліндричній оболонці описується системою однорідних диференційованих рівнянь, одержаних з неоднорідної системи (17) в [2] шляхом відкидання правих частин.

$$\begin{aligned} \rho \ddot{u} - \frac{E}{1-\nu^2} u_1 + \frac{E\nu}{(1-\nu^2)R} u_n = 0; \\ \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)} u_n^{IV} - \frac{\rho h^2}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-\nu^2)} \right] \ddot{u}_n'' + \rho \left[ 1 + \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)GR^2} \right] \ddot{u}_n'' + \\ + \frac{\rho h^2}{12G} u_n'' - \frac{E^2 h^2}{12(1-\nu^2)^2 GR^2} u_n'' + \frac{E}{(1-\nu^2)R^2} u_n + \frac{E^2 h^2 \nu}{12(1-\nu^2)^2 GR} u_1''' - \\ - \frac{\rho h^2 E \nu}{12(1-\nu^2)GR} \ddot{u}_1' - \frac{E\nu}{R(1-\nu^2)} u_1' = 0. \end{aligned} \quad (5.6)$$

У цій системі крапкою позначене диференціювання за часом  $t$ , штрихом – по просторовій змінній  $X$ .

Будемо досліджувати рух гармонійної хвилі вигляду:

$$U_1 = U \sin(kx - \omega t), \quad U_n = W \cos(kx - \omega t). \quad (5.7)$$

Тоді

$$\begin{aligned} U_1^{II} &= -Uk^2 \sin(kx - \omega t); \quad U_1^{III} = -Uk^3 \cos(kx - \omega t); \\ u_1^I &= -uk\omega^2 \cos(kx - \omega t); \quad U_1^{III} = -Uk^2 \sin(kx - \omega t); \\ U_u^I &= -ak \sin(kx - \omega t); \quad U_n^{II} = -Wk^2 \cos(kx - \omega t); \\ U_n^{IV} &= Wk^4 \cos(kx - \omega t); \quad U_n^{II} = -W\omega^2 \cos(kx - \omega t); \\ U_n^{II} &= Wk^2 \omega^2 \cos(kx - \omega t); \quad U_n^{IV} = W\omega^4 \cos(kx - \omega t). \end{aligned} \quad (5.8)$$

Після підстановки (5.7) у (5.6) і скорочення на  $\cos(kx - \omega t)$ ,  $\sin(kx - \omega t)$ , одержимо однорідну систему рівнянь:

$$\left( \frac{Ek^2}{1-\nu^2} - \rho\omega^2 \right) U - \frac{\varepsilon \nu k}{(1-\nu^2)R} W = 0; \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} & \frac{E \nu k}{R(1-\nu^2)} \left[ \frac{\rho h^2}{12G} \omega^2 - \frac{\varepsilon h^2}{12(1-\nu^2)G} k^2 - 1 \right] U + \\ & + \left\{ \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)} k^4 - \frac{\rho h^2}{12} \left[ 1 + \frac{\varepsilon}{G(1-\nu^2)} \right] k^2 \omega^2 - \right. \\ & \left. - \rho \left[ 1 + \frac{\varepsilon h^2}{12(1-\nu^2)} + \frac{\rho^2 h^2}{12G} \omega^4 \right] \right\} = 0. \end{aligned} \quad (5.10)$$

Ця система має відмінне від нуля рішення  $U$ ,  $W$  тільки у випадках, коли визначник матриці її коефіцієнтів дорівнює нулю. З цієї умови знаходимо характеристичне (дисперсійне) рівняння:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{Ek^2}{1-\nu^2} - \rho\omega^2 \right) \left\{ \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)} k^4 - \frac{\rho h^2}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-\nu^2)} \right] k^2 \omega^2 - \right. \\ & \left. - \rho \left[ 1 + \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)GR^2} \right] \omega^2 + \frac{\rho^2 h^2}{12G} W^4 + \frac{E^2 h^2}{12(1-\nu^2)GR^2} + \right. \\ & \left. + \frac{E}{(1-\nu^2)R^2} \right\} + \frac{E^2 \nu^2 k^2}{(1-\nu^2)R^2} \left[ \frac{\rho h^2}{12G} \omega^2 - \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)G} k^2 - 1 \right] = 0. \end{aligned} \quad (5.11)$$

**Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і  
детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

З аналізу отриманих даних випливає, що побудоване дисперсійне рівняння є рівнянням шостого ступеня відносно  $\omega^2$ . З огляду на те, що  $\omega$  входить у нього тільки у квадраті, це рівняння можна привести до кубічного рівняння відносно  $\omega^2$ , потім знайти три залежності  $\omega_i = \omega_i(u)$  ( $i=1,2,3$ ) і підрахувати три фазові швидкості руху гармонійних хвиль виду (5.7) за формулою:

$$v_i = \omega_i(k)/k; \quad (i=1,2,3). \quad (5.12)$$

Для призначення фазової швидкості  $v_i$  ( $i=1,2,3$ ) за допомогою системи (5.7) визначається відношення  $U_i/v_i$ , що характеризує поляризацію хвилі.

У зв'язку із цим, якщо відношення в правій частині рівності (5.12) залежить від  $k$ , то гармоніки (5.7) з різними довжинами хвилі поширюються з різними швидкостями. Такі хвилі називаються диспергуючими. Якщо для обраного  $i$  ( $i=1,2,3$ ) відношення  $\omega_i(k)/k$  залишається постійним при будь-якому  $k$ , то всі гармонійні хвилі даної  $i$ -ої поляризації поширюються з однієї й тією ж швидкістю  $v_i$ , а явище дисперсії (розмивання профілю негармонійної хвилі) відсутнє.

Для побудови залежностей  $\omega_i = \omega_i(k)$ , обумовлених рівнянням (5.6), спростимо це рівняння; з огляду на те, що  $\omega$  й  $k$  входять до нього тільки в парних ступенях. Тоді, позначивши  $\omega^2 = \Omega$ ,  $k^2 = KO$ , приведемо рівняння (5.11) до кубічного рівняння відносно  $\Omega$  й  $K$ :

$$\left( \frac{Eh^2}{1-v^2} - \rho\Omega \right) \left\{ \frac{Eh^2}{12(1-v^2)} k^2 - \frac{\rho h^2}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-v^2)} \right] k\Omega - \right. \\ \left. - \rho \left[ 1 + \frac{Eh^2}{12(1-v^2)GR^2} \right] \Omega + \frac{\rho^2 h^2}{12G} \Omega^2 + \frac{E^2 h^2}{12(1-v^2)^2 GR^2} k + \right. \\ \left. + \frac{E}{(1-v^2)R^2} \right\} + \frac{E^2 v^2 k}{(1-v^2)^2 R^2} \left[ \frac{\rho h^2}{12G} \Omega - \frac{Eh^2}{12(1-v^2)G} k - 1 \right] = 0. \quad (5.13)$$

Оскільки коефіцієнти при невідомій  $\Omega$  у цьому рівнянні являють собою складні вираження, зручнішим виявляється застосування

чисельних методів, зокрема методу Ньютона й методу продовження рішення за параметром для побудови залежності  $\Omega_i = \Omega_i(DO)$  ( $i = 1, 2, 3$ ). Суть такого підходу в наступному. Представимо рівняння (5.10) у вигляді:

$$F(\Omega, \ddot{A}\hat{I}) = 0. \quad (5.14)$$

Нехай при деякому  $k_0$  відомо значення  $\Omega_{i\partial i}$  таке, що  $(\Omega_{i\partial i}, \ddot{A}O) = 0$ . Дано мале збільшення  $\Delta DO$  величини  $K$  і знайдемо відповідні йому збільшення  $\Delta\Omega_{i\partial i}$  так, щоб співвідношення (5.14) задовольнялося й при нових  $\Omega_1 = \Omega_{i\partial i} + \Delta\Omega_1$ ,  $\ddot{A}\hat{I}_1 - \ddot{A}O = \ddot{A}\hat{I}_1$ .

Тоді

$$F(\Omega_{i\partial i} + \Delta\Omega_1, \ddot{A}O + \ddot{A}\hat{I}_1) \approx \tilde{n}. \quad (5.15)$$

Лінезуємо співвідношення (5.15) в наближеному стані  $\Omega_{i\partial i}, \ddot{A}O$ . У підсумку одержимо:

$$\frac{\partial F}{\partial \Omega} \Delta\Omega_1 + \frac{\partial F}{\partial k} \Delta k_1 \approx 0. \quad (5.16)$$

Якщо вважати, що  $\Delta DO_1$  відоме, то одержуємо вираз вираження для співвідношення  $\Delta\Omega_1$ :

$$\Delta\Omega_1 = - \frac{\partial F}{\partial k} \Delta k_1 / \frac{\partial F}{\partial \Omega}. \quad (5.17)$$

Далі знову можна припустити, що відомими є величини  $\Omega_1 = \Omega_{i\partial i} + \Delta\Omega_1$ ,  $\ddot{A}\hat{I}_1 = \ddot{A}O + \Delta\ddot{A}\hat{A}_1$ , можливо збільшити  $\Delta\ddot{A}\hat{I}_1$  і за формулою, яка є аналогічною (5.17), знайти  $\Delta\Omega_2$ , а потім нові значення  $\Omega_2 = \Omega_1 + \Delta\Omega_2$ ,  $\ddot{A}\hat{I}_2 = \ddot{A}\hat{I}_1 + \Delta\ddot{A}\hat{A}_2$  тощо. При цьому необхідно враховувати, що наближена рівність  $F(\Omega_i, K_i) \approx 0$  буде задовольнятися все з меншою точністю зі збільшенням. Тому в рівнянні виду (5.17) необхідно враховувати й новизну  $F(\Omega_i, K_i)$ . У результаті одержимо:

**Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

---

$$\Delta\Omega_i = - \left[ \Delta k_i \frac{\partial F}{\partial k} + F(\Omega_i, k_i) \right] / \left[ \frac{\partial F(\Omega_i, k_i)}{\partial k} \right]. \quad (5.18)$$

За розробленою методикою виконане дослідження поширення гармонійних хвиль в осьовому напрямку циліндричної оболонки. Розглянуто оболонку з поліетилену з параметрами:  $\rho = 940 \text{ кг/м}^3$ ;  $E = 0,76 \cdot 10^9 \text{ Па}$ ;  $\nu = 0,4$ ;  $h = 0,95 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  $R = 1,125 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

На *рис. 5.1* наведено рішення дисперсійного рівняння для даної оболонки й показано залежності  $\Omega$ - $DO$ , а також відповідні їм графіки  $\omega$ - $K$ . Після витягу кореня тільки остання залежність  $\omega$ - $DO$  зберегла прямолінійний обрис, дві інші виявилися криволінійними. Це означає, що при параметрах  $\omega$ ,  $DO$ , що лежать на останній прямій лінії, відношення  $V = (\omega/DO) = 839 \text{ м/с}$  залишається постійним, всі гармоніки мають однакову швидкість хвилі  $V$ , тому хвилі такого типу не диспергують. Хвилі, що відповідають двом іншим кривим, мають швидкості вище, але вони є диспергуючими.

З аналізу отриманих даних видно, що в циліндричній оболонці буде поширюватися незатухаючий хвильовий процес, а це сприяє механічному струшуванню напіляної на внутрішню поверхню поліетиленової оболонки вибухової речовини й створенню умов для стабільного просування детонаційної хвилі по пилосваженому ВР.

### **5.3. Побудова рішення рівнянь про рух рухомого навантаження**

Після того, як за допомогою електропідривання або вибуху детонатора в поліетиленовій трубці напіляне на її внутрішню поверхню ВР струшене, утворюється пилосважена суміш, в якій починає поширюватися хвиля детонації, дія якої, у свою чергу, струшує напілювання ВР і створює умову подальшого просування детонації.

Динаміка напружено-деформованого стану пружної циліндричної трубки під дією рухомого навантаження інтенсивності  $P_n$  що рухається усередині її, описується системою рівнянь, причому при  $x < 0$   $P_n = 0$ , тому рівняння є однорідними:

$$h \left( \rho V^2 - \frac{E}{1-\nu^2} \right) U'' + \frac{Eh}{(1-\nu^2)} \frac{\nu}{R} W' = 0. \quad (5.19)$$

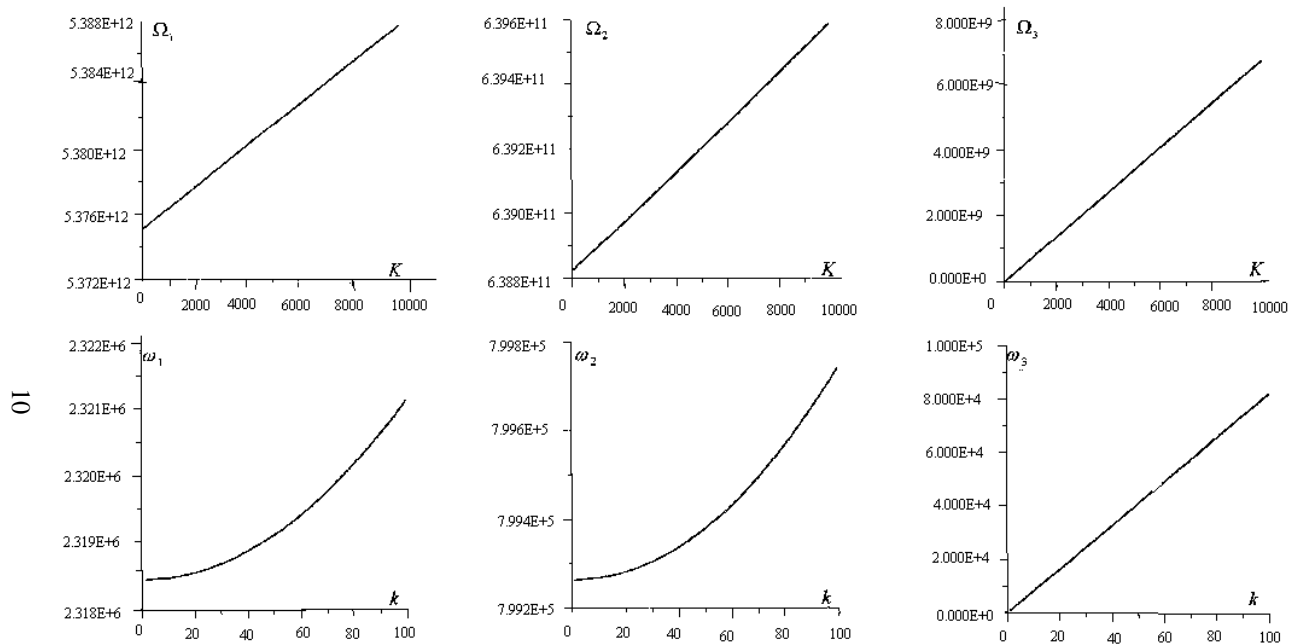


Рис. 5.1. Графіки рішення дисперсійного рівняння

**Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

Розглянемо випадок, коли детонаційна хвиля при  $x > 0$  створює поле постійного тиску, тому  $P_n = const$ ,  $P_n'' = 0$  та справедливі неоднорідні рівняння:

$$h \left( \rho V^2 - \frac{E}{1-v^2} \right) U'' + \frac{Eh}{(1-v^2)} \frac{v}{R} \Omega' = 0; \quad (5.20)$$

$$\begin{aligned} & \frac{Eh^3v}{12(1-v^2)GR} \left( \frac{E}{1-v^2} - V^2\rho \right) U''' - \frac{Ehv}{R(1-v^2)} U' + \\ & + \left\{ \frac{Eh^3}{12(1-v^2)} - \frac{\rho h^3}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-v^2)} \right] V^2 + \frac{\rho^2 h^3}{12G} V^4 \right\} W^{IV} + \\ & + \left\{ \rho h \left[ 1 + \frac{h^2 E}{12(1-v^2)GR^2} \right] V^2 - \frac{E^2 h^3}{12(1-v^2)^2 GR^2} \right\} W'' + \\ & + \frac{Eh}{(1-v^2)R^2} \Omega = P_n. \end{aligned} \quad (5.21)$$

Для спрощення систем (5.20), (5.21) зробимо додаткові перетворення.

Рівняння (5.20) має інтеграл, тому з нього одержимо:

$$\begin{aligned} U^I &= C_1 - \frac{Ev}{R \left[ \rho(1-v^2) - E \right]} \omega, \\ U^{III} &= - \frac{Ev}{R \left[ \rho(1-v^2)V^2 - E \right]} \omega^{II}, \end{aligned} \quad (5.22)$$

де  $C_1$  – константа.

У результаті друге рівняння системи (5.21) приводиться до форми



$$\begin{aligned}
 & \left\{ \frac{Eh^3}{12(1-v^2)} - \frac{\rho h^3}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-v^2)} \right] V^2 + \frac{\rho^2 h^3}{12G} V^4 \right\} \omega^{IV} + \\
 & + \left\{ \rho h \left[ 1 + \frac{h^2 E}{12(1-v^2)GR^2} \right] V^2 - \frac{E^2 h^3}{12(1-v^2)GR^2} \right\} W^{II} + \\
 & + \frac{Eh}{(1-v^2)R^2} \left\{ 1 + \frac{Ev^2}{\left[ \rho(1-v^2)V^2 - E \right]} \right\} W = \frac{Ehv}{R(1-v^2)} C_1.
 \end{aligned} \tag{5.23}$$

Аналогічні перетворення виконуються для системи (5.21) при  $x > 0$ ;

$$\begin{aligned}
 U^I &= C_2 - \frac{Ev}{R \left[ \rho V^2 (1-v^2) - E \right]} \omega; \\
 U^{III} &= - \frac{Ev}{R \left[ \rho V^2 (1-v^2) - E \right]} W^{II}.
 \end{aligned} \tag{5.24}$$

Підставляючи (5.24) у (5.21), одержимо:

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \frac{Eh^3}{12(1-v^2)} - \frac{\rho h^3}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-v^2)} \right] V^2 + \frac{\rho^2 h^3}{12G} V^4 \right\} W^{IV} + \\
 & + \left\{ \rho h \left[ 1 + \frac{h^2 E}{12(1-v^2)GR^2} \right] V^2 - \frac{E^2 h^3}{12(1-v^2)GR^2} \right\} W^{II} + \\
 & + \frac{Eh}{(1-v^2)R^2} \left\{ 1 + \frac{Ev^2}{\left[ \rho V^2 (1-v^2) - E \right]} \right\} W = \frac{Ev^2}{R(1-v^2)} C_2 + P_n.
 \end{aligned} \tag{5.25}$$

Загальний розв'язок  $\omega(x)$  рівняння (5.23) конструємо у вигляді суми загального розв'язку  $w_{0,0}(x)$  відповідного однорідного рівняння для (5.23) та його частки розв'язання  $w_{rx}(x)$ :

**Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і  
дегонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

---

$$\omega(x) = \omega_{rk}(x) + \omega_m(x). \quad (5.26)$$

Прийmemo:

$$\omega_{0,0}(x) = \omega e^{\lambda x}. \quad (5.27)$$

Підставляючи (5.27) у відповідне однорідне рівняння, одержимо біквадратне рівняння:

$$\begin{aligned} & \left\{ \frac{Eh^3}{12(1-v^2)} - \frac{\rho h^3}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-v^2)} \right] V^2 + \frac{\rho^2 h^3}{12G} V^4 \right\} \lambda^4 + \\ & \left\{ \rho h \left[ 1 + \frac{h^2 E}{12(1-v^2)GR^2} \right] V^2 - \frac{E^2 h^3}{12(1-v^2)GR^2} \right\} \lambda^2 + \\ & + \frac{Eh}{(1-v^2)R^2} \left\{ 1 + \frac{Ev^2}{\left[ \rho(1-v^2)V^2 - E \right]} \right\} = 0. \end{aligned} \quad (5.28)$$

Уведемо позначення:

$$\begin{aligned} m &= \frac{Eh^3}{12(1-v^2)} - \frac{\rho h^3}{12} \left[ 1 + \frac{E}{G(1-v^2)} \right] V^2 + \frac{\rho^2 h^3}{12G} V^4; \\ n &= \rho h \left[ 1 + \frac{h^2 E}{12(1-v^2)R^2 G} \right] V^2 - \frac{E^2 h^3}{12(1-v^2)GR^2}; \\ p &= \frac{Eh}{(1-v^2)R^2} \left\{ 1 + \frac{Ev^2}{\left[ \rho(1-v^2)V^2 - E \right]} \right\}. \end{aligned} \quad (5.29)$$

Тоді рівняння (5.28) можна представити у вигляді:

$$m\Lambda^2 + n\Lambda + p = 0. \quad (5.30)$$

В нього можна підставити:

$$\begin{aligned} \Lambda_{1,2} &= \frac{-n \pm \sqrt{n^2 - 4mp}}{2m} \\ \lambda_{1,2} &= \pm \sqrt{\Lambda_1} \\ \lambda_{3,4} &= \pm \sqrt{\Lambda_2} \end{aligned} \quad (5.31)$$

Вигляд розв'язку (5.23) залежить від значень  $\Lambda_1$ ;  $\Lambda_2$ . Можливі різні випадки.

Нехай  $\Lambda_1 > 0$ ,  $\Lambda_2 > 0$ . Тоді:

$$\begin{aligned} w_{0,0}(x) &= C_3 e^{\sqrt{\Lambda_1}x} + C_4 e^{\Lambda_2 x} + C_7 e^{-\sqrt{\Lambda_1}x} + C_8 e^{-\sqrt{\Lambda_2}x} \quad \text{для } x < 0; \\ w_{0,0}(x) &= C_5 e^{-\sqrt{\Lambda_1}x} + C_6 e^{-\sqrt{\Lambda_2}x} + C_9 e^{\sqrt{\Lambda_1}x} + C_{10} e^{\sqrt{\Lambda_2}x} \quad \text{для } x > 0. \end{aligned} \quad (5.32)$$

При визначенні констант  $C_3, C_4 \dots C_{10}$  будемо враховувати, що рішення убувають до нескінченності, тобто  $w_{0,0}(x) \rightarrow 0$  при  $x \rightarrow \pm\infty$ . Ця умова дозволяє прийняти  $C_7 = C_8 = C_9 = C_{10} = 0$  і розв'язання (5.25) спростити:

$$\begin{aligned} w_{0,0}(x) &= C_3 e^{\sqrt{\Lambda_1}x} + C_4 e^{\sqrt{\Lambda_2}x} \\ w_{0,0}(x) &= C_5 e^{-\sqrt{\Lambda_1}x} + C_6 e^{-\sqrt{\Lambda_2}x} \end{aligned} \quad (5.33)$$

Одиничні розв'язки  $w_m(x)$  неоднорідних рівнянь (5.23), (5.25) мають форму:

$$w_m(x) = \frac{vR}{1-v^2} \frac{[\rho(1-v^2)V^2 - E]}{(\rho V^2 - E)} C_1; \quad (5.34)$$

**Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і  
дегонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

---

$$w_m(x) = \frac{vR}{1-v^2} \frac{[\rho(1-v^2)V^2 - E]}{(\rho V^2 - E)} C_2 + \frac{R^2[\rho V^2(1-v^2) - E]}{Eh(\rho V^2 - E)} P_n.$$

Рівності (5.33), (5.34) дозволяють знайти загальне рішення (5.31):

$$w(x) = C_3 e^{\sqrt{\Lambda_1}x} + C_4 e^{\sqrt{\Lambda_2}x} + \frac{vR}{1-v^2} \frac{[\rho(1-v^2)V^2 - E]}{(\rho V^2 - E)} C_1; \quad (5.35)$$

$$w(x) = C_5 e^{-\sqrt{\Lambda_1}x} + C_6 e^{-\sqrt{\Lambda_3}x} + \frac{vR}{1-v^2} \frac{[\rho(1-v^2)V^2 - E]}{(\rho V^2 - E)} C_2 + \frac{R^2[\rho V^2(1-v^2) - E]}{Eh(\rho V^2 - E)} P_n. \quad (5.36)$$

Складові (5.36) константи  $C_1, C_2, \dots, C_6$  витікають із умов сполучення розв'язків при  $x = 0$ . Умова нерозривності  $w(x)$  та її похідних призводять до рівностей:

$$\begin{aligned} W_-(0) &= W_+(0); \\ W_-^I(0) &= W_+^I(0); \\ W_-^{II}(0) &= W_+^{II}(0); \\ W_-^{III}(0) &= W_+^{III}(0); \\ N_{1-}(0) &= N_{1+}(0). \end{aligned} \quad (5.37)$$

Остання рівність цієї системи дає:

$$\left(U^I - v \frac{W}{R}\right)_- = \left(U^I - v \frac{W}{R}\right)_+. \quad (5.38)$$

З врахуванням першої рівності системи (5.37) умова (5.38) приводиться до рівності:

$$U_-^I(0) = U_+^I(0). \quad (5.39)$$

Розглянемо першу рівність системи (5.21). За умови рівності нулю напруг при  $(x) \rightarrow -\infty$  маємо  $U^I(-\infty) = w(-\infty) = 0$ , звідки  $C_1 = 0$ . З огляду на (5.39), разом з (5.25), (5.24) і першою рівністю (5.37), одержуємо  $C_2 = 0$ .

Підставляючи (5.37) у перші чотири рівності (5.38) виводимо чотири рівняння для обчислення невідомих констант  $C_3, C_4, C_5, C_6$ :

$$C_3 + C_4 - C_5 - C_6 = \frac{R^2[\rho V^2(1-v^2) - E]}{Eh(\rho V^2 - E)} P_n; \quad (5.40)$$

$$\begin{aligned} \Lambda_1^2 C_3 + \Lambda_2^2 C_4 + \Lambda_1^2 C_5 + \Lambda_2^2 C_6 &= 0; & C_3 + C_5 &= 0; \\ \Lambda_1 C_3 + \Lambda_2 C_4 - \Lambda_1 C_5 - \Lambda_2 C_6 &= 0; & \Lambda_1 C_3 + \Lambda_2 C_4 &= 0; \\ \Lambda_1^{\frac{3}{2}} C_3 + \Lambda_2^{\frac{3}{2}} C_4 + \Lambda_1^{\frac{3}{2}} C_5 + \Lambda_2^{\frac{3}{2}} C_6 &= 0; & C_4 + C_6 &= 0. \end{aligned} \quad (5.41)$$

Система (5.41) має розв'язання:

$$\begin{aligned} C_3 &= \frac{\Lambda_2}{\Lambda_2 - \Lambda_1} \frac{R^2[\rho V^2(1-v^2) - E]}{2Eh[\rho V^2 - E]}; \\ C_4 &= -\frac{\Lambda_1}{\Lambda_2 - \Lambda_1} \frac{R^2[\rho V^2(1-v^2) - E]}{2Eh[\rho V^2 - E]}; \\ C_5 &= -\frac{\Lambda_2}{\Lambda_2 - \Lambda_1} \frac{R^2[\rho V^2(1-v^2) - E]}{2Eh[\rho V^2 - E]}; \\ C_6 &= \frac{\Lambda_1}{\Lambda_2 - \Lambda_1} \frac{R^2[\rho V^2(1-v^2) - E]}{2Eh[\rho V^2 - E]}. \end{aligned} \quad (5.42)$$

Розглянемо поведінку циліндричної трубки при наступних значеннях механічних параметрів.

Зовнішній діаметр трубки  $D = 4$  мм; внутрішній діаметр  $d = 1,2$  мм;  $h = 1,4$  мм;  $R = 1,3$  мм; матеріал трубки поліетиленово-каучукова композиція, модуль пружності якої  $E = 0,22 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup> для поліетилену низького тиску або  $E = 0,5 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup> – для високого,

**Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і  
дегонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

щільність  $\rho = 0,95 - 1,05 \text{ т/м}^3$ ; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,4 - 0,45$ , швидкість переміщення рухливого тиску  $P_n, V = 2100 \text{ м/с}$ .

Візьмемо випадок  $\rho = 950 \text{ кг/м}^3, \nu = 0,4, E = 0,22 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ . Тоді  $G = E/2(1+\nu) = 7,857 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2, m = 1,5557, n = 6,7627 \cdot 10^6, \rho = 5,209 \cdot 10^{12}$ .

У цьому випадку:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 7,857 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

Тоді:

$$\begin{aligned} \Lambda_1 &= -1,0005 \cdot 10^6; \quad \Lambda_2 = -3,3465 \cdot 10^6; \\ \lambda_{1,2} &= \pm 10^3; \quad \lambda_{3,4} = \pm 1,829 \cdot 10^3; \\ \lambda_{1,2} &= \pm 10^3 i; \quad \lambda_{3,4} = \pm 1,829 \cdot 10^3 i. \end{aligned}$$

Оскільки змінні  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  виявилися часто мнимими, то цей випадок відрізняється від випадку 1. У зв'язку із цим розглянемо випадок 2.

Нехай  $\Lambda_1 < 0, \Lambda_2 < 0$ . Тоді  $\lambda_{1,2} = \pm i\beta_1$  й  $\lambda_{3,4} = \pm i\beta_2$ .

$$\begin{aligned} w(x) &= C_3 \cos \beta_1 x + C_4 \sin \beta_1 x + C_5 \cos \beta_2 x + C_6 \sin \beta_2 x; \\ w(x) &= C_7 \cos \beta_1 x + C_8 \sin \beta_1 x + C_9 \cos \beta_2 x + C_{10} \sin \beta_2 x + ap_n, \end{aligned} \quad (5.43)$$

де  $a = R^2[\rho V^2(1-\nu^2) - E]/[Eh(\rho V^2 - E)]$ .

Для обчислення вхідних в (5.43) констант  $C_3, C_4, \dots, C_{10}$  є чотири перших рівняння системи (5.37), які дають:

$$\begin{aligned} C_3 + C_5 - C_7 - C_9 &= ap_n; \\ \beta_1 C_4 + \beta_2 C_6 - \beta_1 C_8 - \beta_2 C_{10} &= 0; \\ \beta_1^2 C_3 + \beta_2^2 C_5 - \beta_1^2 C_7 - \beta_2^2 C_9 &= 0; \\ \beta_1^3 C_4 + \beta_2^3 C_6 - \beta_1^3 C_8 - \beta_2^3 C_{10} &= 0. \end{aligned} \quad (5.44)$$

Ці системи містять вісім невідомих, які обумовлені чотирма рівняннями. Для замикання цієї системи використовуємо відоме

явище, що прогин убуває до нескінченності: тобто при  $x \rightarrow \pm\infty$ ,  $w(x) \rightarrow 0$ . Цей факт дає рівність  $C_7 = C_8 = C_9 = C_{10} = 0$  та істотно спрощує розв'язання (5.44).

У цьому випадку при русі вибухового навантаження зі швидкістю  $v_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-v^2)}}$  поліетиленова оболонка практично не має прогинів, оскільки при цьому  $a = 0$  в (5.44) і прогинання дорівнює нулю.

Швидкість  $v_2 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  є критичною для даного рухомого навантаження,

тому що прогин при такій швидкості необмежено зростає.

Зазначимо, що цей результат отриманий у припущенні, що матеріал оболонки – поліетилен – є ідеально пружним середовищем. Реальні суцільні середовища не є ідеально пружними, але при критичній швидкості  $V_2$  прогини будуть дуже інтенсивними, що створить оптимальні умови для струшування ВР зі стінок поліетиленової оболонки.

В праву частину системи алгебраїчних рівнянь як параметр входить тиск у циліндричній порожнині; для його визначення використовуємо співвідношення Гюгоньо й умову Чепмена–Жуге разом з рівнянням стану продуктів вибуху для ідеального газу, що детонує [17]:

$$\frac{P}{\rho} = RT, \quad \rho_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^3, \quad Q = 1400; \quad \gamma = 1,2;$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\gamma + 1}{\gamma} = 1,8; \quad P = \rho_0 Q (\gamma - 1) = 18,5 \text{ МПа};$$

$$D = [2Q(\gamma^2 - 1)]^{1/2} = 2100 \text{ м/с}; \quad W = D \frac{1}{\gamma + 1} = 1750 \text{ м/с}.$$

Параметри  $D$ ,  $Q$  і  $\rho_0$  узяті з даних, представлених розроблювачами вітчизняного хвилеводу.

У розділі розглянуто специфічні процеси поширення в поліетиленовій оболонці трубчастого хвилеводу, який детонує, хвилі детонації, які ініціюють струшування напіяного на внутрішню поверхню трубки шару ВР, утворення вибухової пилоповітряної суміші, виникнення в ній хвилі детонації, що переміщується по каналу хвилеводу з постійною швидкістю.

## **Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

---

Для розв'язання завдання складена система рівнянь із частками похідних, що описують динаміку циліндричної оболонки під дією віссиметричного навантаження, що може бути використана для визначення параметрів хвиль деформацій та вивчення явища струшування й розпилення дрібнокристалічної ініціюючої ВР у каналі хвилеводу. Отримана система рівнянь є більш складною, порівняно з відомими, оскільки містить похідні від інтенсивності навантаження, що дозволяє більш точно описати вплив характеру вибухових і детонаційних хвиль на коливання оболонки.

За розробленою методикою виконане дослідження закономірностей поширення незатухаючого хвильового процесу у вигляді гармонійних хвиль в осьовому напрямку циліндричної поліетиленової оболонки. Параметри й характер навантаження сприяють механічному струшуванню напиляного на внутрішню поверхню циліндричної трубки ВР і створенню умов для стабільного просування детонаційної хвилі в каналі трубки по пилозваженій вибуховій суміші.

Розв'язання системи алгебраїчних рівнянь, до якої як параметр входить тиск у циліндричній порожнині виконано з урахуванням реальних параметрів неелектричної ініціюючої системи й свідчить про відповідність розрахункових даних відомим експериментальним характеристикам системи.

### **5.4. Методичні положення лабораторних досліджень**

На прикладі США як провідного споживача промислових ВР і засобів їхнього висадження можна простежити поширення нових видів неелектричних систем ініціювання свердловинних шпурових зарядів, які засновані на переміщенні канальних ударних хвиль [1]. Вони відрізняються підвищеною безпекою, простотою використання, забезпечують безвідмовне висадження в самих складних гірничо-геологічних умовах і дозволяють встановлювати схеми короткоуповільненого висадження із широкими діапазонами інтервалів уповільнень. Найбільш відомою є система "Нонель", в основі конструкції якої лежить порожній пластмасовий шнур – хвилевід, внутрішня поверхня якого покрита шаром вибухової реагуючої суміші. При ініціюванні ця суміш, розкладаючись в атмосфері каналу хвилеводу, утворює та підтримує незалежно від його довжини ударну хвилю (УВ), яка переміщається зі швидкістю близько 2000 м/с.



Ударна хвиля несе енергію, достатню для ініціювання спеціального капсуля – детонатора, закріпленого на одному з кінців шнура-хвилеводу. Рівень енергії ударної хвилі недостатній для необоротного деформування пластмасової трубки хвилеводу, тому ця трубка виконує, в першу чергу, роль провідника сигналу.

Відомі риси й переваги закордонних систем "Нонель" перевіряються й у вітчизняній практиці [2–4]. Вони мають належати й вітчизняним аналогам, однак бути попередньо ретельно дослідженими в лабораторних і полігонних умовах. З огляду на швидкоплинність досліджуваних процесів у хвилеводі, які подібні до детонаційних процесів у низькошвидкісних вибухових речовинах, методично ці дослідження подібні традиційним, які базуються на використанні чутливих датчиків на осцилографічній реєстрації [5, 6].

Об'єктом досліджень є циліндрична поліетиленова оболонка – трубка круглого поперечного перерізу із зовнішнім діаметром 3,2 мм та внутрішнім – 1,3 мм. Ці значення отримані за допомогою мікроскопа МБС-1 з 56-кратним збільшенням. Довжина досліджуваних трубочок змінювалася від 150 до 1000 мм залежно від мети дослідів.

Фізико-механічні параметри матеріалу трубки: поліетилен із щільністю  $\rho = 940 \text{ кг/м}^3$ ; модуль пружності  $E = 0,76 \cdot 10^9 \text{ Па}$ ; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,4$ .

Досліджувалися два типи поліетиленових трубок. Одні трубки були без внутрішнього покриття, а інші мали рівномірно напиляну вибухову речовину (ВР) – гексоген; напиляний на внутрішню поверхню порожнини при  $16 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}$  довжини трубки. Слід зазначити, що спостереження напилювання ВР під мікроскопом указують на наявність у ньому часточок ВР розміром до 0,3 мм при сітці їхнього розташування  $1,8 \times 2 \text{ мм}$ . Надалі поліетиленову трубку з напиляним на внутрішню поверхню ВР будемо називати ДВ.

Відрізок досліджуваної поліетиленової трубки розміщався на плоскій поверхні дерев'яної панелі, до якої він кріпився хомутиками (рис. 5.2). На відстані 10–15 мм від початку трубки через малі отвори, проколоті голкою, розміщалися тонкі (діаметром 0,07 мм) мідні дротики довжиною 15 мм. Їхні кінці із зовнішнього боку трубки ДВ припаювалися до центральної жили коаксіального високовольтного кабелю. На них у заданий момент подавалася висока напруга від попередньо заряджених конденсаторів електророзрядного пристрою.

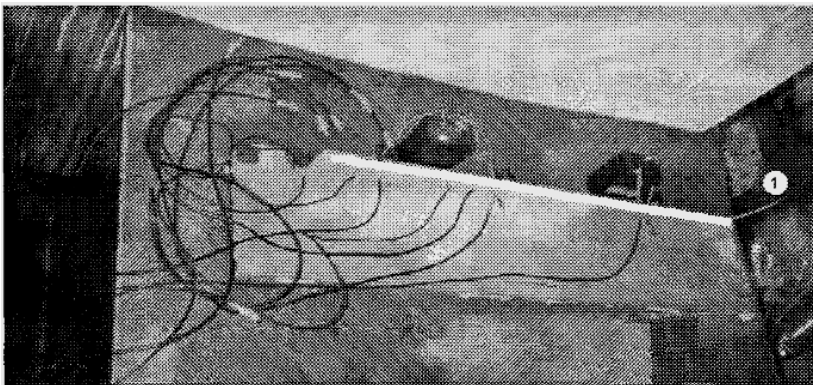


Рис. 5.2. Загальний вигляд експериментальної установки

У електророзрядному пристрої як накопичувач енергії використовувалися високовольтні конденсатори типу ІМК-25-12 загальною ємністю  $4,8 \cdot 10^{-6}$  Ф. Імпульс тиску усередині поліетиленової трубки створювався в момент електровибуху провідника, при цьому формуючий проміжок закорочувався механічно. Період коливального процесу, генерованого електровибухом провідника, рівнявся приблизно  $10^{-4} \pm 20$  %.

Протилежний кінець поліетиленової трубки був закритий притуленим до нього із зазором 0,15 мм п'єзокерамічним датчиком тиску. Чутливий елемент п'єзодатчика з п'єзокераміки ЦТС-19 товщиною 0,3 мм і розміром 1×1 мм кріпився до коаксіального антивібраційного високочастотного кабелю АВК-3, при цьому посріблені плоскі поверхні п'єзоелемента розташовувалися перпендикулярно до осі кабелю. Після акустичного захисту бічних поверхонь п'єзокераміки й заливання епоксидною сумішшю форма датчика тиску стала у вигляді конуса. Щоб датчик тиску не реагував на хвилі тиску, які поширюються в матеріалі трубки ДВ, він встановлювався на тій же відстані, що і в інших дослідах, рівний товщині леза – 0,15 мм від її кінця.

При юстируванні датчика тиск встановлювався відповідно між значенням сигналу датчика в мілівольтах і значенням тиску у хвилі, що поширюється по каналу діафрагмової ударної трубки [7].

Якщо ударна хвиля поширюється по каналу зі швидкістю  $W_1$  число  $M$  буде визначатися за виразом  $M_1 = \frac{W_1}{a_1}$ ; тиск в ударній хвилі

визначається як  $p = \frac{p_2}{p_1}$  і виражається функцією:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{2\gamma \cdot M_1^2 - (\gamma - 1)}{\gamma + 1}, \quad (5.45)$$

де  $p_1$  і  $M_1$  – відповідно тиск і швидкість руху звуку в газі перед фронтом хвилі;  $\gamma$  – співвідношення питомих теплоємностей газу.

Ударна трубка, яка використовувалася для юстирування датчиків, має прямокутний внутрішній перетин 210×140 мм. Камера й канал, що заповнені повітрям при атмосферному тиску, розділяються між собою діафрагмою, матеріал якої підбирався залежно від того, хвилю якої інтенсивності бажано одержати. У камеру нагнітається повітря з підвищеним тиском до розривання діафрагми.

Співвідношення (5.1) дозволяє, виміривши швидкість поширення прямого стрибка ущільнення  $W_1$ , обчислити величину стрибка тиску, що діє на юстирований датчик і виробляє електричний сигнал фіксованої величини.

Для виміру часу проходження ударною хвилею заданої відстані використовувався датчик, що дозволяє виміряти швидкість хвилі з погрішністю  $\pm 2\%$ . Використовуючи залежність (5.1), можна розрахувати величину стрибка тиску у фронті УХ з відносною погрішністю  $\pm 5\%$ .

При юстируванні датчиків у кожному досліді фіксувалася температура з точністю  $\pm 0,2\%$ . Вимірювання температури необхідне для визначення швидкості звуку  $a_1$  у повітрі, по якому рухається хвиля.

За осцилограмами фіксувався профіль хвилі тиску, потім вимірювався сигнал тарованого датчика у вольтах з точністю до  $\pm 5\%$ .

Таким чином, для кожного датчика визначалася чутливість у вигляді числа, що показує, який сигнал у вольтах дає датчик при дії на нього хвилі тиску з певною амплітудою (у дослідях близько  $10^5$  Па). Відносна помилка юстирування склала близько  $10\%$ .

Специфіка реєстрації тиску у хвилі, що рухається внутрішнім каналом поліетиленової трубки малого діаметра (1,3 мм), дозволяє

## Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи

---

розташувати датчик тиску, лише перекривши кінцевий зріз трубки. Тому юстирування датчиків проводилося при аналогічному розміщенні датчика наприкінці невеликого (20–50 мм) відрізка відпрацьованої трубки ДВ, інший кінець якої входив у канал діафрагмової ударної трубки через отвір у торцевій сталевій пластині. Варіювання довжини трубки в межах 20–50 мм не вносило помітних змін в осцилограму юстирувальної хвилі тиску.

Крім торцевого датчика тиску, в дослідах використовувалися відносно невеликі (1×1 мм) пластинки п'єзокераміки ЦТС-19 товщиною 0,3 мм, наклеєні на зовнішню поверхню поліетиленової трубки. Сигнали від п'єзокераміки знімалися за допомогою коротких відрізків тонких мідних дротиків діаметром 0,1 мм, які припаяні одним кінцем до посріблених поверхонь п'єзокерамічних пластинок, а іншим – до коаксіального антивібраційного кабелю АВК-3. Отримані при деформації п'єзокераміки електричні сигнали подавалися на електронні осцилографи типу С 9–8 із цифровим відліком тимчасової координати. Використання двох п'єзокерамічних пластинок з відомою відстанню між ними дало можливість із помилкою близько 5 % підрахувати середню швидкість поширення збуджень по трубці між п'єзоелементами.

Після реєстрації параметрів у процесі детонації ДВ поліетиленова трубка використовується повторно, при цьому в кожному досліді встановлювався новий дротик ідентичних розмірів, що ініціює імпульс тиску при електровибуху.

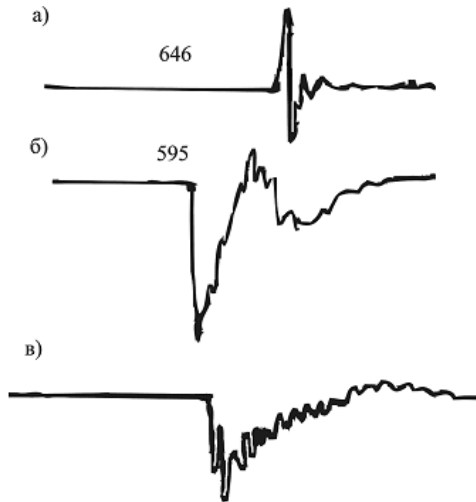
У перших дослідах визначалися характер і швидкість поширення хвилі тиску, що рухається по каналу ДВ. У десяти дослідах електровибух провідника стандартної довжини 15 мм проводився не всередині трубки, а в 3–5 мм від її торця, попередньо заклеєного тонкою твердою пластинкою діаметром близько 5 мм. Такий імпульс не робив детонації до початку процесу у внутрішньому каналі поліетиленової трубки ДВ, але генерував слабкі поздовжні хвилі тиску, швидкість яких  $D$  також розраховувалася за відомими відстанню між п'єзоелементами й інтервалом часу між характерними точками осцилограми.

Реєстрація деформацій поліетиленової трубки ДВ проводилася за допомогою тензорезисторів типу 5П В-12 (база 1 мм, коефіцієнт тензочутливості  $DO = 2,12$ ). Тензорезистори наклеювалися на зовнішню поверхню трубки в кільцевому напрямку так, що при поширенні процесу детонації показання датчиків давали можливість зареєструвати окружні деформації зовнішньої поверхні трубки, а отже,

визначити зміну радіального переміщення  $u_r$  стінки трубки в часі. Сигнали від тензорезисторів подавалися на запам'ятовувальні осцилографи С 8–13 і С 8–17.

**5.5. Закономірності детонаційних процесів у зразках варіантів вітчизняного хвилеводу**

Типові осцилограми, які фіксувалися осцилографами С 9–8 при подачі на них сигналів із пластинок п'єзокераміки, наклеєних на зовнішню поверхню ДВ, показані на *рис. 5.3 а, б*. Відстань між п'єзоелементами  $(50 \pm 1)$  мм, час приходу сигналу розраховується за характерними точками осцилограм з помилкою  $\pm 10^{-6}$  с.



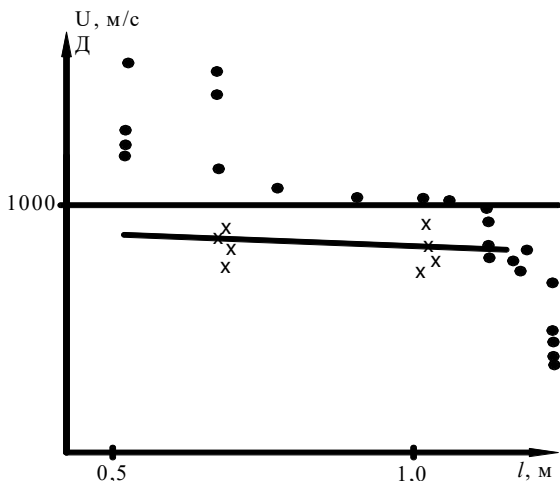
**Рис. 5.3 Вид сигналів:**

*а, б – від п'єзокерамічних бічних пластинок;  
в – від п'єзокерамічного торцевого датчика тиску*

На графіку *рис. 5.4* по осі абсцис відкладена координата середніх точок між парами п'єзокерамічних датчиків, які фіксують момент приходу до них фронту збудження. Точками позначено швидкість  $V$  поширення в каналі ДВ хвилі тиску тільки від електровибуху дротика. Слід зазначити значний розкид експериментальних точок, пов'язаний з

## Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи

розкидом параметрів ініціюючого електровибуху, і добре помітну тенденцію до падіння швидкості хвилі з віддаленням її фронту від центра джерела електровибуху. Середня швидкість на відстані 0,1–0,15 м від електровибуху дорівнює 1300 м/с, а з віддаленням хвилі від джерела падає – на відстані близько 0,24 м її значення зменшуються до 400–500 м/с.



**Рис. 5.4.** Результати виміру швидкісних параметрів у відпрацьованому хвилеводі:

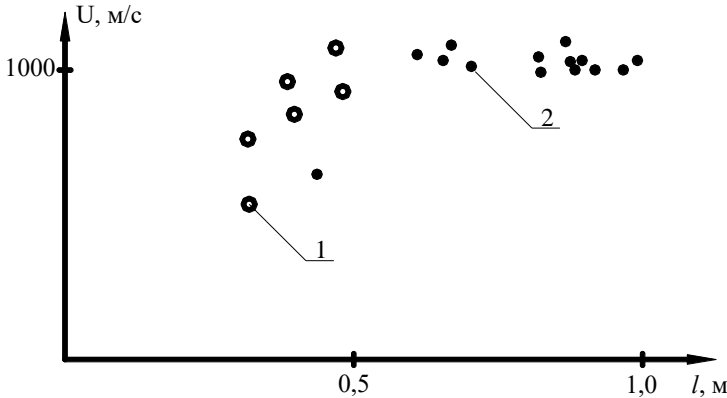
1 – швидкість поширення ударної хвилі в каналі хвилеводу;  
2 – швидкість поздовжньої хвилі тиску в закритого торця трубок

Хрестиками на *рис. 5.4* позначено результати виміру швидкості  $D$  поздовжньої хвилі тиску, що виникає поблизу закритого торця поліетиленової трубки. Значення  $D$ , отримане як середнє арифметичне за результатами десяти дослідів, становить 840 м/с.

На *рис. 5.3* наведена осцилограма, яка записана торцевим датчиком тиску при порушенні процесу детонації в поліетиленовій трубці ДВ довжиною 1 м. Перший пік тиску з наростанням тиску протягом 1 мкс у семи дослідів мав значення  $(20 \pm 5) \cdot 10^5$  Па. В іншому піку протягом декількох мікросекунд тиск наростав до  $25 \cdot 10^5$  Па з наступним спадом приблизно за  $150 \cdot 10^{-6}$  с.

Результати вимірів швидкості поширення хвилі детонації внутрішнім каналом поліетиленової трубки ДВ на різних відстанях від

джерела вибуху показано на *рис. 5.5*. Досліди виконані із застосуванням трубок довжиною 0,5 м (1) і 1,0 м (2).



**Рис. 5.5. Швидкість детонаційної хвилі:**

1 – у трубці довжиною 0,5 м;

2 – у трубці довжиною 1,0 м

У початковій зоні зародження детонаційного процесу не вдалося виконати вимір через більші електричні сигнали, які виникають в каналах апаратури, що реєструє, внаслідок електророзряду. Досліди показують, що після електровибуху механічний процес перетворення напильного вибухової речовини на внутрішню поверхню трубки ДВ відбувається зі зростаючою швидкістю в каналі ДВ півметрової довжини (ділянка розгону). Надалі процес детонації йде з постійною швидкістю близько 1000 м/с. Таким чином, можна зробити висновок, що переддетонаційний процес розкладання напильного ВР для даного ДВ відбувається на відрізьку 0,5 м від точки ініціювання.

На графіках *рис. 5.6* наведено осцилограми процесу деформування поліетиленової трубки ДВ на відстані 0,44 м від точки ініціювання. Нижня осцилограма ілюструє деформування зовнішньої поверхні трубки ДВ у процесі поширення детонаційної хвилі. Верхня крива, що являє залежність деформації поверхні трубки від часу, зареєстрована тим же датчиком, що фіксував хвилю тиску під час детонації ДВ від електровибуху. Оцінка сигналів з урахуванням різної чутливості каналів показала, що їхні значення відрізняються в 20 разів. Таким чином можна зробити висновок, що помилки у вимірах деформацій

## Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи

ДВ, що виникають за рахунок дії електровибуху на відстанях більше 0,44 м від точки ініціювання, не перевищують 5 %.



**Рис. 5.6. Осцилограми, що фіксують процес деформації трубчастого хвилеводу, що детонує:**

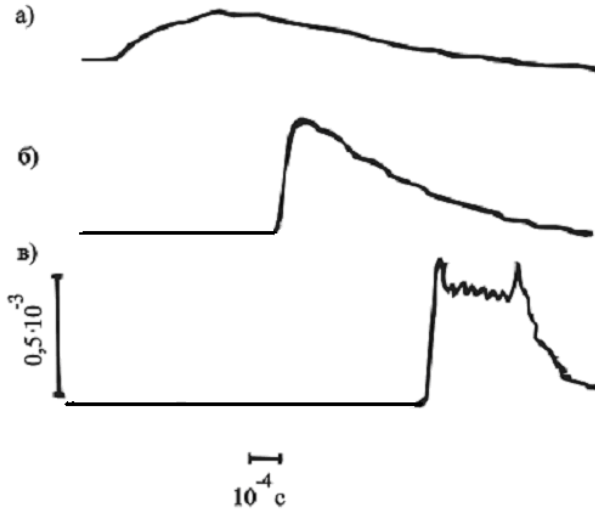
1 – при дії ударної хвилі;  
2 – при дії детонаційної хвилі

Для порівняння на *рис. 5.7* в однаковому масштабі дані осцилограми деформування трубки ДВ на відстанях 0,28 м (*рис. 5.7, а*), 0,4 м (*рис. 5.7, б*) і 0,9 м (*рис. 5.7, в*) від точки ініціювання. Чітко простежується переддетонаційний процес горіння й утворення детонаційної хвилі в каналі поліетиленової трубки ДШ. Амплітудне значення сигналу тензорезистора зростає, фронт стає більше крутим, загальна тривалість сигналу зменшується. На відстані 0,9 м від електророзряду, де процес детонації виразно стабілізується, середнє значення відносної окружної деформації сягає  $0,5 \cdot 10^{-3}$  м, а тривалість імпульсу склала  $4 \cdot 10^{-4}$  с.

Наведені матеріали мають, у першу чергу, методичне значення, оскільки вони можуть бути основою для подальших досліджень зі створення надійних засобів неелектричного безпечного ініціювання свердловинних і шпурових зарядів та контролю їхньої якості. Як показує аналіз отриманих результатів, комплексна методика лабораторних досліджень забезпечує визначення основних



експлуатаційних характеристик хвилеводу типу "Нонель" з достатньою точністю. Ступінь точності – помилки вимірів переважно не перевищує 5 %.



**Рис. 5.7. Осцилограми деформування трубчастого хвилеводу на відстані від точки ініціювання:**  
*a – 0,28 м; б – 0,4 м; в – 0,9 м*

Порівняно з відомими зразками, досліджений хвилевід характеризується значно більш низькою швидкістю детонації. Це пояснюється крупністю часточок напиланого ВР. Що стосується міцності оболонки хвилеводу та якості напилування ВР на внутрішню поверхню поліетиленової трубки, їх досить високий рівень підтверджується стабільністю отриманих у серії дослідів детонаційних параметрів хвилеводу.

Коливання енергії ініціюючого електровибуху практично не впливало на довжину розгону детонаційної хвилі у хвилеводі, що склала близько 0,5 м. Крім того, імпульс тиску на протилежному від місця ініціювання кінці хвилеводу (2,0–2,5 МПа) цілком достатній для порушення детонації в спеціальних проміжних капсулях. Відносно низька швидкість детонації (1000 м/с) дозволяє використовувати хвилевід як елемент коротких уповільнень і змонтувати вибухову

## Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи

мережу з потрібними ступенями уповільнень при меншій витраті хвилеводу.

### 5.6. Детонаційні параметри хвилеводу

Протягом останніх десятиліть ДержНДІХП у м. Шостка (Україна) займається розробкою засобів ініціювання для гірничодобувної промисловості [20]. Розроблено вітчизняний хвилевід для неелектричної системи ініціювання типу "Нонель" [20] із провідником імпульсу низкоенергетичного типу – хвилеводом, що детонує. Теоретичне й експериментальне обґрунтування механізму порушення й передачі детонації у хвилеводі виконано в співробітництві із НТУУ "КПІ" та Інститутом механіки НАН України [19]. Система пройшла прийнятні випробування в промислових умовах гранітних кар'єрів Житомирської області. Для вдосконалення системи сполучних блоків для порушення детонації в магістральних і дільничних хвилеводах за необхідності одночасної детонації частин розосереджених свердловинних зарядів застосовано спеціальні безкапсульні комутатори, які забезпечують передачу детонації через незаповнені вибуховою речовиною порожнини [9].

Налагодження методики вимірів здійснювалося із застосуванням поліетиленового хвилеводу без напилювання ВР у каналі. Розміри трубок становили: довжина – 1 м, зовнішній діаметр – 3 мм, внутрішній – 1,5 мм. П'єзодатчики розмірами  $1 \times 1 \times 0,15$  мм із п'єзокераміки ЦТС-19 наклеювалися на зовнішню поверхню поліетиленової трубки (рис. 5.8).

Трубка встановлювалася на дошці та ізолювалася від неї порономом розміром  $10 \times 10 \times 1020$  мм. Для виключення похибок у схемі використовувався антивібраційний кабель.

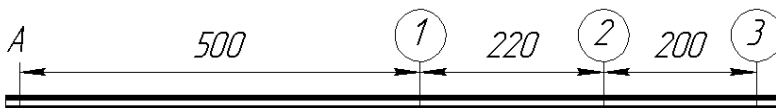


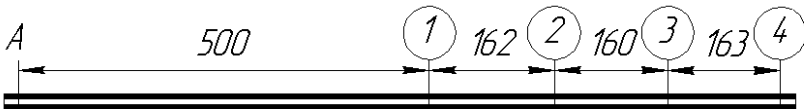
Рис. 5.8. Схема експерименту з відпрацьованою трубною довжиною 1,0 м

Механічний імпульс генерувався електровибухом при  $U = 3$  кВ,  $C = 46$  мкФ, що досить для порушення детонації в трубках з

напиляним ВР. Реєстрація сигналів здійснювалася двопробеневими осцилографами С 9–8 і С 9–16 з роздільною здатністю 1 мкс.

Електровибух здійснювався в точці А (рис. 5.8); між датчиками 1 і 2 була зареєстрована швидкість хвилі  $V = 855$  м/с, а між датчиками 2 і 3 –  $V = 840$  м/с, звідки  $V_{cp} = 848$  м/с.

Аналогічний дослід був проведений для більш м'якого хвилеводу із зовнішнім діаметром 2,2 мм і внутрішнім діаметром 1,5 мм. П'єзодатчики були наклеєні за схемою, що наведена на рис. 5.9.



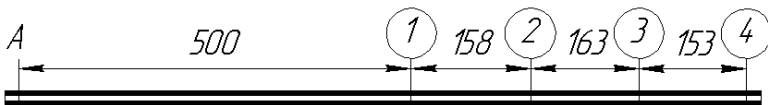
**Рис. 5.9.** Схема дослідів з м'яким хвилеводом

Було зареєстровано наступні швидкості поширення коливань по поліетиленовій трубці від електровибуху в точці А:

$V_{12} = 780$  м/с;  $V_{23} = 730$  м/с;  $V_{34} = 670$  м/с, звідки  $V_{cp} = 727$  м/с.

Результати вимірів показують, що в тоншій трубці, виготовленої з менш міцного поліетилену, модуль Юнга на 36 % менший, ніж у трубці діаметром 3 мм, швидкість коливань від електровибуху значно більше. Крім того, у всіх дослідів помітне зниження швидкості коливань по довжині хвилеводу з віддаленням від точки виникнення імпульсу, що характерно для динамічних процесів у нейтральних середовищах у зв'язку із втратою енергії хвилею на деформування хвилеводу.

Після налагодження вимірювальної методики на поліетиленових трубках без ВР був випробуваний хвилевід із зовнішнім діаметром 3,3 мм і внутрішнім 1,5 мм. Схема наклеювання п'єзодатчиків показана на рис. 5.10. За попередньому досліді первісний відрізок хвилеводу прийнятий довжиною  $l = 1$  м.



**Рис. 5.10.** Схема дослідів із серійним хвилеводом

## Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи

При проведенні електровибуху процес детонації спостерігався візуально до датчика 1 на відстані близько 300 мм від електровибуху.

Виміряні швидкості мають такі величини:

$V_{12} = 1800$  м/с;  $V_{23} = 1820$  м/с;  $V_{34} = 1790$  м/с. Середня швидкість сигналу складала  $V_{cp} = 1803$  м/с. Візуальне спостереження початку детонації у вигляді блакитного світіння й постійна швидкість поширення детонації по каналу хвилеводу довжиною більше 0,5 м свідчить про більш високі параметри початку детонаційного процесу.

Наступний дослід з визначення швидкості детонації в досліджуваному хвилеводі здійснювався на трубі довжиною 585 мм (рис. 5.11).

Показання датчиків 1 і 2 паралельно виводилися на екрани двох осцилографів. На рис. 5.12, а наведені осцилограми п'єзодатчиків 1 і 2, що зареєстровані на осцилографі С 9–8, а на рис. 5.12, б – на осцилографі С 9–16.



Рис. 5.11. Схема експериментів із хвилеводом, що детонує

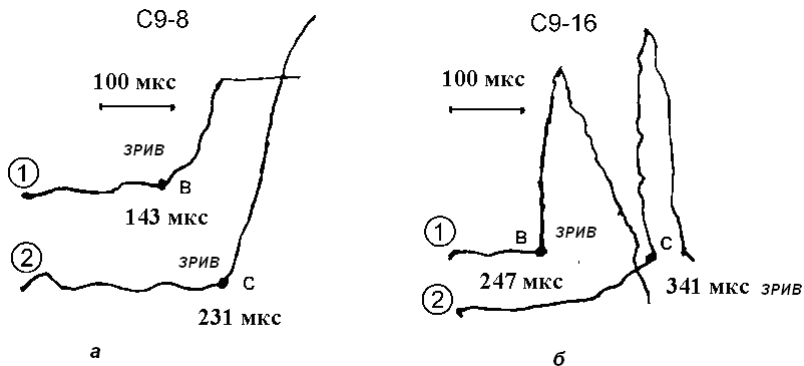


Рис. 5.12. Результати випробувань хвилеводу, що детонує

Точки зриву сигналу на *рис. 5.12, а, б* відповідають приходу фронту детонаційної хвилі в точку наклейки п'єзодатчика. Швидкість детонації між 1 і 2 датчиками становить:

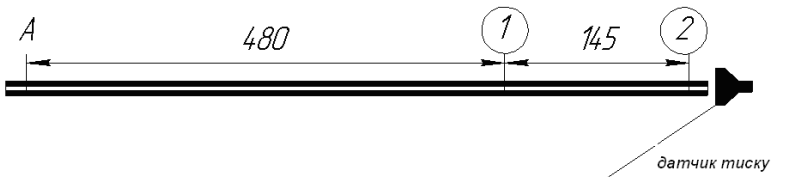
осцилограф С 9–8  $V = 1852$  м/с;

осцилограф С 9–16  $V = 1734$  м/с.

Таким чином, середня швидкість детонації за двома осцилографами становить  $V_{\text{ср}} = 1793$  м/с.

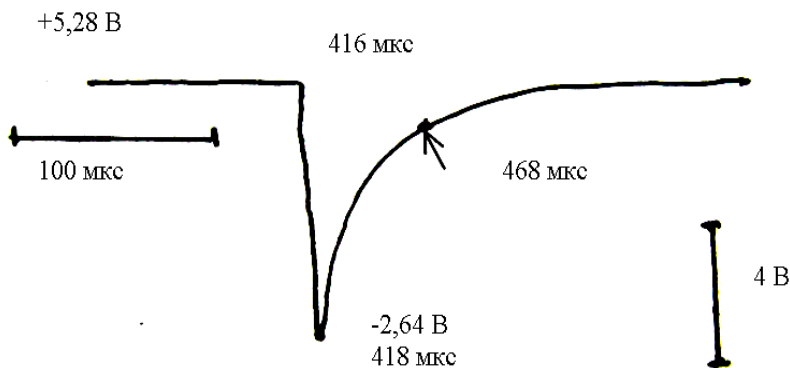
На осцилограмах чітко видно, що перед зривом сигналу датчики фіксують деякий слабкий сигнал, що, можливо, є наслідком дії диспергувальних хвиль типу пружного провідника, що передбачається теоретично.

Наступним етапом експериментів був вимір тиску, що хвилевід, який детонує, передає в камеру розгалужувача. Тиск вимірювався за допомогою датчика тиску, сигнал від якого виводився на екран осцилографа С 9–8. Датчик тиску встановлювався в торці хвилеводу, протилежному електровибуху. Датчик установлювався перпендикулярно осі хвилеводу так, щоб між торцями й мембраною датчика могло пройти лезо безпечної бритви (0,08 мм). Юстирування датчика тиску виконувалося на ударній трубці за раніше описаною методикою. Чутливість датчика тиску при юстируванні в ударній трубці складала  $P = 2,429$  В/МПа. П'єзодатчики й датчик тиску встановлювалися на випробуваному хвилеводі, як показано на *рис. 5.13*.



**Рис. 5.13. Схема розташування датчиків**

Швидкість детонаційної хвилі вимірювалася за допомогою датчиків 1 і 2, показання яких виводилися на осцилограф С 9–16. Показання датчика тиску фіксувалися за допомогою осцилографа С 9–8 і зображені на *рис. 5.14*.



**Рис. 5.14. Осцилограма тиску**

Як видно з осцилограми, наростання ударного фронту до максимального значення відбувається за 2 мкс. Тиск у відбитій хвилі на торці хвилеводу дорівнює:  $\frac{5,28B + 2,64B}{2,429B/MPa} = 3,26$  МПа.

Час спаду тиску у відбитій хвилі в "е" разів підраховуємо таким чином:  $7,92U/2,7 = 2,9$  В, що на осцилограмі відповідає точці 489 мкс. Отже, тривалість хвилі тиску дорівнює  $468 - 416 = 52$  мкс.

Усереднена швидкість детонації на ділянці між 1 і 2 датчиком дорівнює 1700 м/с. Це говорить про те, що детонаційна хвиля поширилася по каналу трубки.

Зазначимо, що швидкість поширення коливань від електророзряду у відстріляному хвилеводі дорівнює 1200 м.

### **5.7. Дослідження процесу передачі детонації хвилеводу через розгалужувач**

Після дослідження імпульсу тиску, що входить у металевий трійник (розгалужувач) проведено досліди з вивчення процесу передачі детонації через металевий трійник. П'єзодатчики й датчик тиску встановлювалися, як показано на схемі (рис. 5.15).

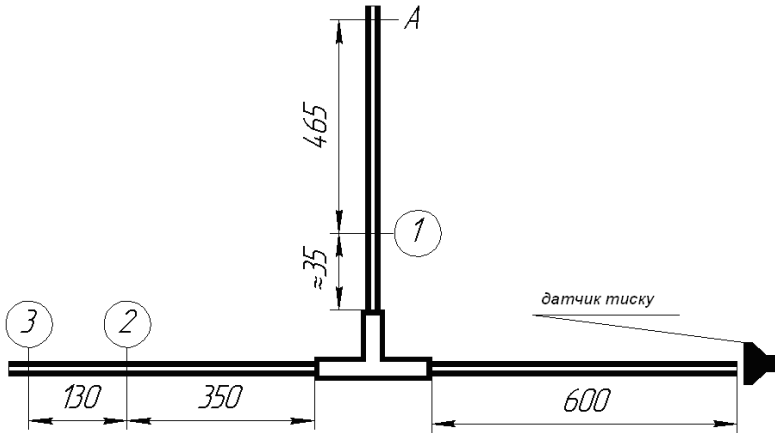


Рис. 5.15. Схема установки датчиків при експериментах з розгалужувачем

Після електровибуху детонація поширювалася по всіх трьох трубках хвилеводу. Верхній промінь осцилографа записував показання датчика тиску, а нижній промінь – сигнал від п'єзодатчика. На осцилограф С 9–16 на верхній промінь подавався сигнал від датчика 2, а на нижній – від датчика 3.

Згідно з осцилограмою датчика тиску, зображеної на рис. 5.16, з урахуванням показання його чутливості 2,429 В/МПа, максимальний тиск у відбитій хвилі буде дорівнює:

$$\frac{10,24\text{Å} + 5,6\text{Å}}{2,429\text{Å}/\text{МПа}} = 6,5 \text{ МПа.}$$

Середня швидкість поширення детонаційного процесу від п'єзодатчика 1 до торця трубки з урахуванням переходу через потрійний розгалужувач буде дорівнює:

$$V_{cd} = \frac{(35 + 20 + 500)10^{-3}}{(720 - 273)10^{-6}} = 1242 \text{ м/с.}$$

Із цього видно, що процес детонації при переході через розгалужувач трохи уповільнюється.

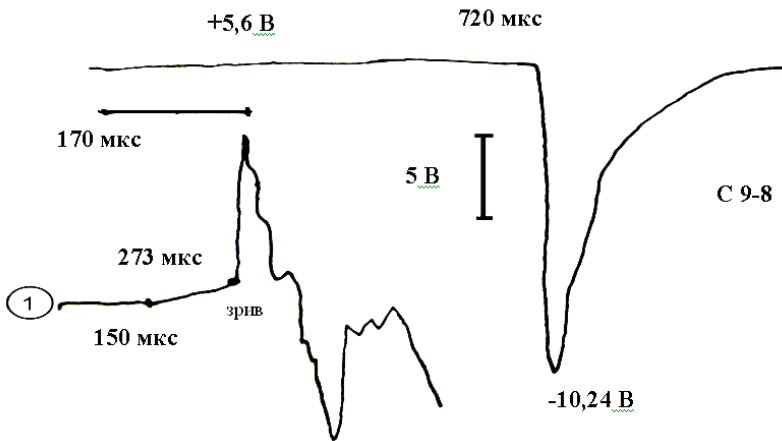


Рис. 5.16. Осцилограми від датчика 2 і датчика 3 (рис. 5.15)

На *рис. 5.17* показано осцилограми для п'єзодатчиків 2 і 3, що зняті з осцилографа С 9–16:

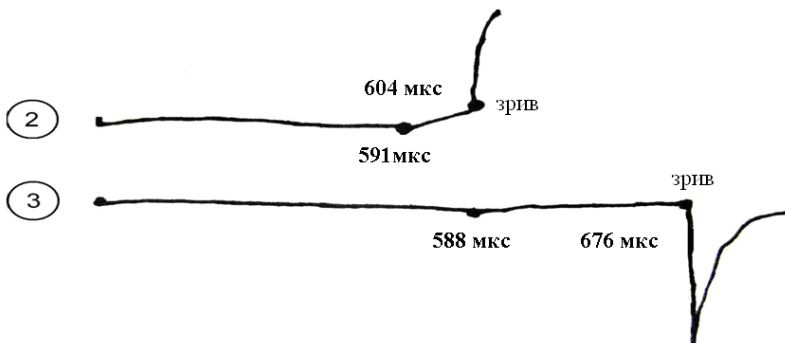


Рис. 5.17. Осцилограми з осцилографа С 9-16

Визначимо середню швидкість передачі процесу детонації через потрійний розгалужувач на ділянці між датчиками 1 і 2.



$$V_{\text{нд}} = \frac{(35 + 20 + 350)10^{-3} \text{ і}}{(604 - 273)10^6 \text{ н}} = 1225 \text{ м/с.}$$

З порівняння отриманих швидкостей видно, що процес передачі формується одночасно в правій і лівій частинах потрійного розгалужувача. Визначимо швидкість поширення коливань на ділянці між датчиками 2 і 3:

$$V_{\text{нд}} = \frac{130 \cdot 10^{-3} \text{ і}}{(676 - 604) \cdot 10^{-6} \text{ н}} = 1805 \text{ м/с.}$$

Звідси видно, що процес детонації передався як у лівий, так і в правий відрізок хвилеводу через розгалужувач, що підтверджується швидкістю детонації 1805 м/с між 2 і 3 датчиками.

Заслуговує на увагу явище, яке спостерігається в роботі п'єзокерамічних датчиків, за допомогою яких фіксується час приходу детонаційної хвилі в точку наклейки датчика. Практично у всіх випадках перед зривом сигналу від п'єзодатчика, що збігається приходом фронту детонаційної хвилі в точку наклейки датчика, спостерігається деякий рух трубки хвилеводу, що зафіксоване на *рис. 5.19* датчиком 1 у період часу 150–273 мкс. На *рис. 5.20* це явище для 2-го датчика спостерігається в інтервалі 591–604 мкс, для 3-го датчика – 588–676 мкс. Можливо, це є проявом культиватійної дії диспергуючих хвиль, що передбачалося раніше на основі теоретичних рішень дисперсійного рівняння.

Оскільки деформація трубки хвилеводу, на яку реагує п'єзокерамічний датчик, викликана внутрішнім динамічним навантаженням, що рухається поперед детонаційного фронту, то було вирішено експериментально перевірити це явище. Для цього на правому торці хвилеводу, що виходить із потрійного розгалужувача, був установлений п'єзокерамічний датчик 2 таким чином, як і датчик тиску 1, тобто із зазором від торця трубки на товщину леза (*рис. 5.18*).

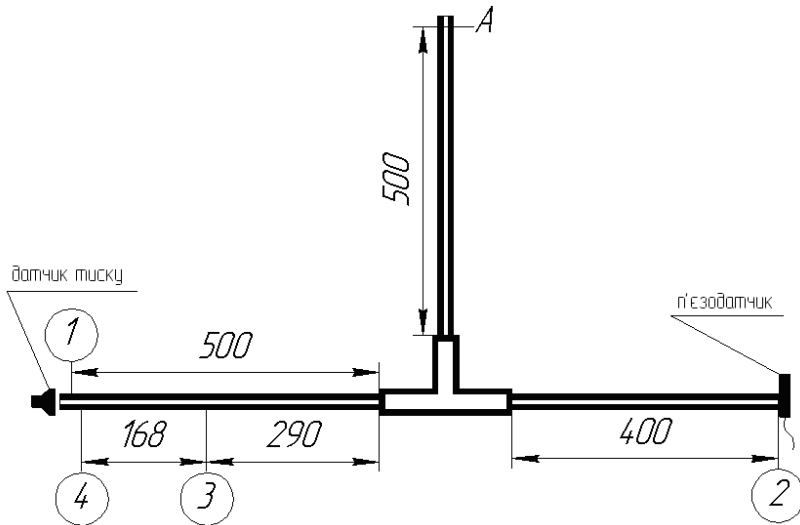


Рис. 5.18. Схема розташування датчиків при вимірі тиску на торці хвилеводу

Показання датчиків 1 і 2 виводилися на осцилограф С 9–8 та їхні показання зареєстровано на осцилограмах (рис. 5.19). У піку хвилі тиску датчик 2 зареєстрував тиск  $P = 5,4$  МПа, причому тиск у хвилі падає в "е" раз за 34 мкс.

Показання п'єзокерамічного датчика 2 підтвердили наявність деякого провідника перед фронтом детонаційної хвилі, прихід якого відзначений зривом у точці 558 мкс, а початок дії провідника ставиться до моменту 233 мкс (рис. 5.19).

Швидкість детонаційної хвилі перед датчиком тиску 1 вимірювалася за допомогою п'єзодатчиків 3 і 4 і склала 1700 м/с. Провідник у точці наклейки датчика 3 діяв в інтервалі часу 549–560 мкс, а в точці 4 – в інтервалі 604–659 мкс (рис. 5.20).

З аналізу експериментальних даних, при передачі детонації через потрійний розгалужувач необхідний час біля 125 мкс для розгону й формування детонаційних хвиль у рукавах потрійного розгалужувача даних параметрів.

На практиці до одного сполучного блока приєднується не більше трьох свердловинних і одного магістрального хвилеводів, тому були також проведені випробування іншого типу блоків. До цих блоків

## Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин

можна приєднувати 5 відрізків хвилеводу, один із яких має передавати детонацію відразу чотирьом. Комутаційні блоки виготовлялися з таких матеріалів, як гума, мідь, алюміній, сталь, оргскло, ударостійкий полістирол, фторопласт і ПВХ.

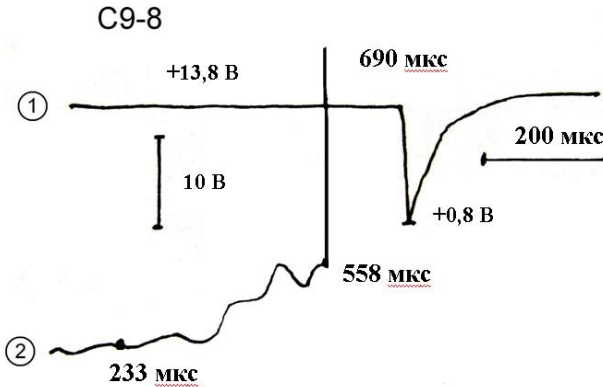


Рис. 5.19. Вид провісника на осцилограмі датчиків 1–2

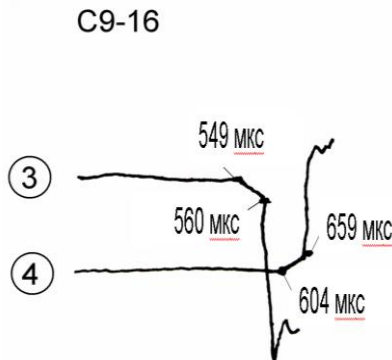


Рис. 5.20. Осцилограми датчиків 3–4

## **Розділ V. Лабораторні дослідження динамічних і детонаційних параметрів неелектричної ініціюючої системи**

---

Результати експериментів були позитивними у всіх випадках. Також у ході експериментів було встановлено, що чим більше відрізків хвилеводу необхідно ініціювати, тим менше має бути відстань торців ініціюємих відрізків хвилеводу від торця ініціюючого.

Застосована комплексна методика експериментальних досліджень основних експлуатаційних характеристик трубчастого хвилеводу, що детонує, забезпечує достатній ступінь точності (помилка не більше 5 %) і може бути основою для подальших досліджень зі створення надійних і безпечних засобів ініціювання промислових зарядів ВР.

Установлено механізм ініціювання електровибухом, розвитку й загасання фронту ударної хвилі в матеріалі оболонки хвилеводу без напиляного ВР і формування детонаційного процесу по довжині хвилеводу з напиляним шаром ВР. Зафіксовано моменти його зародження й наростання швидкості детонації до максимуму на ділянці довжиною 0,5 м (зона розгону) з підтримкою її на постійному рівні по всій довжині в межах значень (для досліджуваних зразків) близько 1000 м/с. На виході ударної хвилі з торця хвилеводу пік тиску на фронті становить  $\sim 2,5$  МПа при тривалості наростання й спаду тиску відповідно 1–2 мкс і 150 мкс.

Використані в експериментах тензорезистори з базою в 1 мм, наклеєні на зовнішню поверхню хвилеводу, реєструють окружні деформації оболонки хвилеводу в часі з помилкою, що не перевищує 5 %. Зареєстровані сигнали тензорезистора на фіксованій відстані від початкового торця трубки дозволяють одержати тимчасові й амплітудні параметри процесу деформування в ударному й детонаційному режимах з гарантованою можливістю розрізнати момент і процес проходження по трубці ударної хвилі від електровибуху й детонаційної хвилі від вибуху пилоповітряної вибухової суміші в каналі хвилеводу.

Детальні дослідження варіанта вітчизняного хвилеводу виявили ряд важливих закономірностей і умов розвитку й передачі детонаційного процесу в системі комутованих хвилеводів. Постійна швидкість переміщення сигналу або фронту детонації близько 1800 м/с установлюється у хвилеводі після довжини 0,5 м, при цьому на осцилограмах чітко простежується деякий слабкий сигнал, що на нашу думку, є наслідком дії диспергуючих хвиль типу пружного провідника, передбаченого теоретично. Зрив сигналу на осцилограмі чітко фіксує момент початку процесу навантаження, а пікове значення сигналу досягається, як правило, протягом 2 мкс.

При дослідженні процесу передачі детонації в системі хвилеводів через недетонуючий потрійний розгалужувач встановлено, що процес детонації формується одночасно в правій і лівій частинах розгалужувача, трохи вповільнюючись на розгалужувачі (до  $\sim 1200$  м/с), і далі у відгалуженнях швидкість процесу встановлюється на середньому рівні  $\sim 1800$  м/с. У ході експериментів встановлено, що при виготовленні комутаційних блоків-розгалужувачів з різних матеріалів (гуми, міді, сталі, алюмінію, оргскла, полістиролу, ПХВ і фторопласту) вітчизняний хвилевід стабільно передає детонацію через незаповнений ВР відрізок порожнини сполучного пристрою на відстань не більше 150 мм.

Випробування показали, що пристрій дозволяє безвідмовно передавати детонацію в 4 відрізки хвилеводу, однак чим більше відрізків хвилеводу необхідно ініціювати, тим ближче мають розташовуватися торці хвилеводів, що ініціюються, від торця ініціюючого.

Грунтуючись на експериментах, можна зробити висновок, що такі завдання, як ініціювання розосереджених зарядів, а також виключення підбивки хвилеводу, можуть бути вирішені застосуванням безкапсульних комутаційних блоків, які також дають більшу економію хвилеводу, особливо для розосереджених зарядів.

**Розділ VI  
ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ ДЕТОНАЦІЇ, МОДЕЛЮВАННЯ  
ІНІЦІУВАННЯ ВИБУХОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ,  
ПРОЦЕСИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВР**

**6.1. Основи теорії ініціювання вибуху ВР**

**6.1.1. Загальні поняття про ініціювання вибуху**

Збудити вибухове перетворення ВР можна наступними видами зовнішнього впливу на їхні заряди: ударною хвилею, що генерується детонатором, механічним ударом або тертям; інтенсивним нагріванням або підпалюванням променем вогню. У всіх випадках відбувається сильний розігрів локальних точок заряду, що призводить до виникнення в них екзотермічної реакції хімічного розкладання молекул ВР (або попередньої газифікації компонентів у сумішних ВР і реагуванню їх у газовій фазі між собою), в результаті чого температура різко підвищується, відбувається запалення деякої маси заряду і виникає горіння.

За сприятливих умов горіння самоприскорюється, переходить у нестійку пульсуючу стадію й закінчується вибухом або детонацією.

Для виникнення вибуху від впливу зовнішнього імпульсу необхідно, щоб до реакції екзотермічного розкладання була залучена деяка мінімальна маса ВР, що називається критичною. При недостатній її величині ВР згорить без вибуху. Критична маса відкритих зарядів ІВР становить частки міліграма, у БВР вона дорівнює декільком грамам, а в малочутливих їхніх видів – десяткам і навіть сотням кілограмів. Її можна істотно зменшити, якщо помістити заряд у міцну герметичну оболонку, що сприяє різкому росту тиску продуктів горіння за дуже короткий проміжок часу й утворенню ударної хвилі.

Отже, вибух будь-якої ВР фактично починається зі стадії горіння, що через якийсь час переходить у якісно інший хімічний процес – детонацію.

Інтервал часу переходу горіння в детонацію ІВР становить незначні частки мікросекунд, а ширина зони хімічної реакції на фронті детонації – тисячні частки міліметра. У БВР ці параметри значно більше. Так при детонації шашки пресованого тротилу інтервал часу перехідного процесу, за даними деяких авторів, становить 0,3–

0,35 мкс, а ширина зони реакції 1,5–2,0 мм. У гранульованих сумішних ВР (грамоніт, грануліт) ці величини ще більші і сягають відповідно 2–4 мкс і 4–6 мм.

Слід зазначити, що порохи піроксилінового і нітрогліцеринового типів, як і ракетні, на відміну від ВР і димного пороху, горять стаціонарно. Фронт горіння поширюється пошарово вглиб їхніх елементів – зерен, трубок, шашок. Горіння димного пороху, як і багатьох БВР, у закритому об'ємі має вибуховий характер.

Вибухове горіння – нестационарний пульсуючий процес, у якому при досягненні досить високого тиску формується ударна хвиля, що призводить до нового механізму хімічного перетворення ВР у формі детонації. Ударна хвиля, що поширюється в заряді поперед зоною хімічної реакції, викликає сильне стискання із розігрівом до досить високих температур поперед лежачих шарів ВР, обумовлюючи тим самим у них хімічну реакцію з виділенням великої кількості тепла. Важливу роль у виникненні і поширенні детонації відіграють завжди наявні в порах заряду включення пухирців повітря, які при проходженні фронту хвилі адіабатично стискаються і розігріваються в ще більшій мірі, ніж ВР, виконуючи в такий спосіб роль "гарячих точок", де і виникають перші осередки реакції.

Детонацією називають стаціонарний процес вибухового перетворення ВР, що протікає з постійною швидкістю. Швидкість детонації – це швидкість поширення по заряду ударної хвилі. У БВР, що використовуються у ЗІ, вона становить 6–8 км/с, у більшості ж промислових ВР перебуває в межах 3,5–5,5 км/с. Гранульовані ВР (грануліти, ігданіт) детонують зі швидкістю 2,0–2,3 км/с. Детонаційна хвиля не здатна самопоширюватися по заряду зі швидкістю 1,2 км/с через малу швидкість виділення тепла і великих його втрат у навколишнє середовище.

Величина швидкості детонації залежить як від хімічної природи ВР, що обумовлює кількість тепла і газів, що виділяють при вибуху так і від фізичного стану зарядів, що підривають: їхньої щільності, діаметра, а також маси і міцності оболонки. Чим більше теплота вибуху і вища щільність заряду, тим вища швидкість детонації та, відповідно, тим інтенсивніший ініціюючий імпульс її ударної хвилі. При повному хімічному перетворенні ВР виділена теплота вибуху максимальна. Вона, як і швидкість детонації, належить до найважливіших його констант.

Під імпульсом ударної хвилі розуміють добуток максимальної величини (пікової) її тиску і часу впливу на перешкоду (у нашому

## Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР

---

---

випадку, на ініційований заряд ВР). Величина цього імпульсу визначає ініціюючу здатність детонатора (КД, ЕД, ПД) і служить основною його характеристикою. Відповідно до гідродинамічної теорії детонації, тиск  $P$  на фронті детонаційної хвилі пропорційний кубу щільності ВР  $\rho_0$  (що рівнозначно щільності продуктів вибуху) і квадрату швидкості детонації  $D$ . Ці залежності можна виразити формулами:

$$P = B\rho_0^3; \quad (6.1)$$

$$P = \frac{1}{4} \rho_0 D^2, \quad (6.2)$$

де  $B$  – константа пропорційності.

Для підвищення тиску детонації та відповідно до ініціюючої здатності детонатора заряд із БВР пресують до максимально можливої робочої щільності. Піковий тиск у детонаційній хвилі цих ВР досягає колосальної величини  $(2-3) \cdot 10^{10}$  Па. Виділена в зоні хімічної реакції теплота – єдине джерело енергії, що підтримує вибухове перетворення і параметри ударної хвилі на постійному рівні протягом усього часу детонації заряду ВР.

У процесі детонації за ударною хвилею іде хвиля розрядження, що призводить до часткової втрати теплоти, яка уноситься продуктами вибуху і розлітається разом із ними з бічної поверхні заряду частками ВР, що не встигли прореагувати. Якщо розміри заряду (його діаметр) будуть занадто малі, то ці втрати можуть виявитися настільки великими (відносно), що подальше поширення детонації стане неможливим. Для кожної ВР існує свій критичний діаметр ( $\sigma_{кр}$ ) детонації відкритого заряду, при меншому значенні якого детонація згасає. Щоб детонація стійко відбувалася в заряді малого діаметра, його поміщають у міцну або масивну оболонку. За допомогою такої оболонки критичний діаметр детонації можна зменшити в кілька разів.

Критичний діаметр детонації ІВР обчислюється сотими частками міліметра. Наприклад, в азиду свинцю він дорівнює 0,01–0,02 мм, у пресованого тротилу – 8–10 мм, а в литого тротилу – вже 28–30 мм. ТЕН і гексоген мають у насипному і пресованому станах невеликі критичні діаметри (1,0–2,5 мм), у ПВР він може сягати 100–150 мм. У зарядах ВР, що мають діаметр, близький до критичного, детонація поширюється із заниженою швидкістю, що у цьому випадку одержала назву критичної швидкості детонації. У багатьох промислових ВР вона



перебуває в межах 1,2–1,8 км/с, тоді як гранична максимальна їхня швидкість при необмежено великому діаметрі сягає 4,5–5,5 км/с. ІВР практично завжди детонують із максимальною властивою швидкістю детонації (гримуча ртуть – 4,8 км/с, азид свинцю – 5,5 км/с).

Прийнято вважати, що для надійного ініціювання початку детонації в ініційованому заряді БВР детонатор має мати швидкість детонації трохи більшу, ніж очікувана оптимальна швидкість детонації в цьому заряді, а маса детонатора має бути в 1,5–2 рази більше за його критичну масу. У протилежному випадку вибухове розкладання, що почалося в заряді поблизу детонатора, може відразу припинитися або ж інтервал розгону детонації займе довжину в кілька діаметрів заряду, і через це із ділянки буде не повністю використана потенційна енергія для здійснення корисної роботи вибуху.

Якщо швидкість детонації детонатора  $D_0$  більша за швидкість детонації ініційованого заряду ВР, то на деякій ділянці його довжини вона знизиться до рівня швидкості детонації заряду  $D_z$ , характерної для даної ВР. Якщо ж  $D_0 < D_z$ , то ділянка розгону детонації буде значно більша, ніж потрібно для досягнення нормального її рівня. При слабкому ініціюючому імпульсі детонатора цей рівень може бути і не досягнуто, тоді відбудеться або неповна детонація, або припинення її на деякій ділянці.

Для ініціювання початку детонації в зарядах промислових ВР на практиці як початковий імпульс використовують винятково імпульс ударної хвилі, в одержаної від іншої ВР, та прийнятого за ініціатор. Інші види початкового ініціюючого імпульсу (наприклад, промінь вогню, удар, тертя) для таких ВР мало придатні через недостатню інтенсивність або труднощі і незручності практичної реалізації на вибухових роботах.

Більшість хімічно індивідуальних і сучасних сумішних БВР промислових призначень безвідмовно детонують від КД або ЕД, маса вторинного заряду яких дорівнює 1,0–1,4 г, а деякі з них детонують і від менш потужного вибухового імпульсу, що створює, наприклад, ДШ нормальної потужності, які містять у своїй серцевині діаметром 2–3 мм усього 12–14 г ТЕНу або гексогену на 1 м їхньої довжини. У той же час, інші типи ПВР (гранульовані і водомісткі) не чутливі до таких видів вибухового імпульсу і вимагають значно більшої його величини, що одержують від шашки проміжного детонатора із тротилу масою 200–400 г. Зазначимо, що інтенсивність і тривалість ударної хвилі детонатора на ініційований заряд залежать не тільки від швидкості його детонації, але і від маси і площі зіткнення із зарядом. Тому на

## **Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР**

---

---

практиці, де це можливо, детонатор занурюють у заряд. У цьому випадку, крім збільшення поверхні впливу ударних хвиль детонатора на масу ВР, що поширюються в поздовжньому і поперечному напрямках, істотну роль у ініціюванні і розвитку детонації відіграють також розпечені продукти вибуху й осколки металевої оболонки, якщо вона наявна в детонаторі.

Винятково висока чутливість ІВР до будь-яких видів зовнішнього впливу (через низьку хімічну стійкість їхніх молекул) дозволяє використати як початковий імпульс для ініціювання початку детонації в первинному їхньому заряді, що розташований в КД і ЕД, промінь вогню ВШ або його форс, створений проміжним зарядом піротехнічного запалювача. Початковим імпульсом для запалення останнього в ЕД служить теплота, створювана містком накаливання за допомогою електричного струму, а в КД накольної дії – вістря (жало) металевого стрижня (що входить у додатковий пристрій ініціювання), енергія механічного уколу якого призведе до розігріву і запалення в ньому піротехнічної сполуки запалювача.

Механічний удар і тертя, вироблені сталевими предметами, не застосовуються як практичні способи ініціювання зарядів БВР. Ці види впливів використовують при лабораторних випробуваннях на чутливість. Одержані при цьому характеристики служать для розробки технічних заходів безпеки роботи із БВР при їхньому виробництві і застосуванні.

Ініціюючий імпульс, створюваний КД № 8, часто є показовою характеристикою сприйнятливості до детонації (детонаційна здатність) тих типів промислових ВР, які здатні від нього стійко детонувати. Для ВР, низькочутливих до такого імпульсу, характеристикою детонаційної здатності є мінімальна маса проміжного детонатора одного із БВР, прийнятого за еталон. Наприклад, маса пресованої тротилової шашки, виражена в грамах, від вибуху якої надійно збуджується детонація в їхніх зарядах діаметром більше критичного. У зарядах же діаметром, меншим за критичний, неможливо викликати стійку детонацію за будь-якої маси проміжного детонатора. Не можна також шляхом збільшення потужності детонатора підвищити швидкість детонації ВР вище того максимального значення, що властиве йому в силу його хімічної природи.

### **6.1.2. Форми хімічного перетворення ВР, піротехнічних сполук і димного пороху**

Хімічне перетворення ВР, піротехнічної сполуки і пороху, що застосовуються у засобах ініціювання, може протікати у різних формах і з різною швидкістю, залежно від їхньої природи, маси заряду, наявності на ньому оболонки та її міцності, характеру і потужності ініціюючого імпульсу [12, 13]. Можливе повільне стаціонарне горіння зі швидкістю порядком декількох міліметрів у секунду, підривне нестаціонарне горіння зі швидкістю в кілька сотень міліметрів у секунду або детонація зі швидкістю 1,2–8,5 км/с. Для кожної із цих форм характерний свій механізм протікання процесу. Виключенням з названих речовин є ІВР, які навіть у найменших кількостях (десяті і соті частки грама) майже відразу детонують від будь-яких зовнішніх впливів. У них через хімічно нестійкий стан молекул період від виникнення запалення до детонації вкрай малий. Димний порох, що перебуває в ВШ у вигляді тонкого протяжного заряду, згоряє з рівномірною та постійною швидкістю близько 10 мм/с, у зосереджених же зарядах великої маси і у зарядах, замкнутих в оболонку, його перетворення від імпульсу променю вогню або нагрітого містка накалювання відбувається у формі вибухового горіння зі швидкістю 400 м/с. При впливі на такі заряди потужного вибухового імпульсу вони детонують зі швидкістю 2,5–3 км/с. Аналогічним чином поведуться деякі піротехнічні сполуки, що містять як окислювач хлорат калію. Вони інтенсивно горять і можуть детонувати. Бризантні ВР від впливу вибухового імпульсу або від досить сильного механічного удару, інтенсивного тертя, швидкого нагрівання запалюються і детонують, а при підпалюванні їхнім відкритим джерелом вогню загоряються і у малих масах. За відсутності оболонки порівняно спокійно згоряють із невеликою швидкістю. За наявності ж оболонки або більших мас цих ВР горіння набуває нестаціонарного, пульсуючого впливу з великою ймовірністю переходу його в детонацію.

### **6.1.3. Характеристики чутливості ВР, димного пороху і піротехнічних сполук до впливу зовнішніх імпульсів**

Чутливість до теплового впливу характеризує поведінку ВР, піротехнічних сполук і димного пороху при їхньому нагріванні або короткочасному впливі на них відкритого полум'я, якому вони можуть піддаватися в процесі експлуатації.

## **Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР**

---

---

За характеристику чутливості до нагрівання приймають температуру самозапалювання або, як її ще називають, температуру спалаху цих речовин. Температура спалаху – це та мінімальна температура, при досягненні якої речовина, що нагрівається, самозаймається і швидко згоряє у вигляді спалаху зі звуковим ефектом. Цю температуру зазвичай визначають на навішенні ВР 0,05 г, яку поміщають в пробірку, що нагрівають зі швидкістю 20 °С у хвилину до моменту спалаху. Згідно з експериментальними даними, з ІВР порівняно невисоку температуру спалаху має гримуча ртуть, істотно вище вона в азиду свинцю. Гексоген і октоген, що використовуються в термостійких ЗІ, мають високу температуру спалаху. Треба, однак, зазначити, що температура спалаху, обумовлена при короткочасному нагріванні, лише приблизно характеризує чутливість ВР до теплового імпульсу, зокрема до впливу на них відкритого полум'я. При тривалому нагріванні спалах ВР може відбутися і при більш низькій температурі, якщо виникнуть умови для місцевого нагромадження тепла в результаті повільного терморозкладення речовини.

Для піротехнічних сполук і димного пороху, що підпалюють у ЗІ відкритим полум'ям, більш показовою характеристикою їхньої чутливості до теплового імпульсу є температура запалювання.

Крім температури спалаху, пожеже- і вибухонебезпечність речовин характеризують також за здатністю запалюватися при зіткненні їх зі стороннім джерелом відкритого полум'я або з розпеченим предметом. Поняття самозапалювання і запалення (запалювання) розрізняються між собою за умовами їхнього виникнення. У першому випадку потрібно більше тепла для прогріву всієї маси речовини до температури запалення. У другому випадку потрібно значно менше тепла: воно необхідно тільки для прогріву поверхневого шару речовини, щоб викликати його загоряння. Потім воно самостійно поширюється по всій масі речовини з певною швидкістю за рахунок теплопровідності. Разом з тим, обидва ці явища, з хімічної точки зору являють собою ту саму окислювально-відновну реакцію, що протікає між елементом речовини, що окислюється, і киснем, що міститься в ньому, або киснем повітря.

Приблизну і лише порівняльну оцінку здатності до запалення речовин іноді проводять так. Над речовиною на деякій відстані закріплюють відрізок ВШ або ЕЗ і підпалюють. Повторивши операцію кілька разів, встановлюють ту максимальну відстань, на якій відбувається запалювання. Цю відстань і приймають за міру

займистості речовини. Однак кращий спосіб оцінки займистості – за мінімальною масою якого-небудь запалювача, наприклад, суміші піроксиліну з гексогеном у співвідношенні 80/20, що викликає загоряння. Серед найпростіших методів оцінки такої чутливості – визначення поведінки ВР при короткочасному і безпосередньому впливі на них променю вогню ВШ. Від променю вогню ІВР детонують, димний порох, в основному, вибухає, тротил, ТЕН і гексоген – загоряються. Димний порох може запалюватися навіть від найменшої іскри, але до механічного удару він менше чутливий, ніж більшість БВР.

**Чутливість до механічних впливів.** У процесі виготовлення і застосування ВМ неминуче піддаються удару і тертю тієї або іншої інтенсивності. При сильному або тривалому впливі цих видів імпульсів може виникнути розігрів речовини, причому в окремих (локальних) місцях настільки, що почнеться хімічне розкладання. У ВР воно може закінчитися вибухом, а в ПС – самозапалюванням.

**Чутливість до удару** ВМ визначають у лабораторії на спеціальному приладі – копрі, який складається із двох напрямних штанг, по яких сковзає вантаж, що скидають з деякої висоти на певну масу випробовуваної речовини, укладену в спеціальну сталеву зборку. У зборці є піддон, в який вставлена матриця із двома сталевими роликami діаметром 10 мм. Між ними міститься навішення речовини.

Мірою чутливості є частота вибухів, виражена у відсотках. Усього проводиться 25 дослідів при певній енергії удару, обумовленої як добуток маси вантажу на висоту його падіння. При випробуванні БВР і ПС масу вантажу беруть рівну 10,5 або 2 кг, висоту падіння 250 мм. Поряд із частотою вибухів визначається також нижня межа чутливості при даній масі вантажу, яку оцінюють за максимальною висотою його падіння, що не дає жодного вибуху в 25 дослідах. Нижня межа чутливості, наприклад ТЕНу, при масі вантажу 10 кг становить 50 см, гексогену 70 см, а тротилу – більше 500 см. ІВР випробовують на копрі трохи іншої конструкції (тип маятника) з масою вантажу 0,5 кг; навішення розташовують на ковадлі без сталеві зборки. Нижня межа чутливості при вантажі 0,5 кг становить у гримучій ртуті 2 см, азиду свинцю – 3–4 см, ТНРС – 11 см.

**Чутливість до тертя** БВР визначають двома методами. За першим з них навішення 0,03 г піддають стиранню між двома сталевими плоскими або сферичними поверхнями, одна з яких обертається зі швидкістю 520 об/хв. під тиском 300 МПа. У навішення малочутливих до тертя речовин підмішують для жорсткості випробування 0,01 г

## **Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР**

---

---

дрібногo кварцового піску. Мірою чутливості є той максимальний тиск тертьових поверхонь, при якому в 10 дослідах не спостерігається спалаху або вибуху навішення. Тротил без піску не вибухає при тиску 300 МПа, а з добавкою піску – при 190 МПа; гексоген без піску не вибухає при 150 МПа, з піском – при 50 МПа; ТЕН без піску – при 90 МПа.

За іншим методом навішення ВР стискають між двома сталевими роликami діаметром 10 мм за допомогою гідравлічного преса, максимальний тиск при цьому сягає 12 МПа. Потім по верхньому ролику роблять бічний удар маятником з метою його зрушення для утворення тертя в шарі випробовуваної речовини. Мірою чутливості є величина стиску навішення, при якій відбуваються вибухи в паралельних дослідах із заданою частістю (50 або 100 %). Гексоген при тиску 270 МПа дає 0 % вибухів, при 530 МПа – 50 %, при 650 МПа – 100 %. Тротил при тиску 506,2 МПа дає 0 %, а при 1100 – 100 %.

**Чутливість до імпульсу ударної хвилі.** Цю характеристику ВР називають також сприйнятливістю до детонації від вибуху якогонебудь іншого ВР, що становить первинний заряд (ініціатор) стосовно нього. Виникаюча ударна хвиля від вибуху ініціатора деяку мить впливає на заряд ініціюемого ВР, викликаючи в окремих його крапках сильний розігрів з вибуховим перетворенням, що потім розвивається в детонацію. Добуток пікового стрибка тиску головної частини ударної хвилі на час його впливу на ініційовану ВР називають імпульсом ударної хвилі.

Ударну хвилю, що поширюється по ВР, називають детонаційною хвилею, а хвилю, що поширюється потім по повітрю при виході із заряду – повітряною ударною хвилею. Вона і робить ініціювання початку детонації в ВР, що перебуває від ініціатора на деякій відстані або примикає до нього впритул.

Мінімальний імпульс ударної хвилі, що збуджує детонацію, називають мінімальним ініціюючим імпульсом. Величина імпульсу ударної хвилі ВР-ініціатора залежить від питомої теплоти його вибуху і швидкості її виділення (швидкості детонації), а також від маси і щільності заряду. Чим більше маса і щільність ініціатора, тим більшу ініціюючу здатність він має.

На практиці для одержання порівняльної характеристики чутливості ряду ВР до вибуху беруть одну з них за ініціатор та його заряд певної маси викликає детонацію всіх інших. Наприклад, підбирають масу первинного заряду гримучої ртуті для повної детонації в КД вторинного заряду БВР. За деяким даними,

мінімальний заряд гримучої ртуті для ініціювання початку детонації вторинного заряду тротилу становить 0,36 г, гексогену – 0,14 г і ТЕНу – 0,1 г. Зазвичай в КД і ЕД первинний заряд ІВР становить 0,15–0,5 м для більшої надійності ініціювання БВР.

Капсуль-детонатор № 8, що містить 0,5 г гримучої ртуті і 1 г гексогену або ТЕНу, прийнятий у нашій країні за стандартний ініціатор для характеристики чутливості до детонації промислових ВР. Не всі вони, однак, досить чутливі до цього імпульсу. Гранульовані і водомісткі їхні типи вимагають потужнішого ініціюючого імпульсу, що може змінюватися в широких межах, залежно від умов їхнього застосування.

Так мінімальна маса тротилової шашки для ініціювання початку детонації в сухому заряді гранульованого тротилу становить 10 г, а у водонаповненому його заряді вже потрібна шашка масою не менше 30 г. На практиці при вибухових роботах для зарядів всіх гранульованих і водомістких ВР використовують тротилу шашку масою 400 г для повної гарантії ініціювання початку стійкої детонації.

### **6.2. Процес ініціювання горіння ВР, порохів і піротехнічних сполук**

#### **6.2.1. Механізм горіння**

А.Ф. Беляєв установив, що механізм горіння БВР і ПС має складний характер: при їхньому нагріванні зовнішнім джерелом тепла відбувається плавлення і випаровування тонкого шару речовини – конденсованої фази – з нагріванням пари, що утворилася, до температури самозапалювання і з наступним виникненням інтенсивної хімічної реакції [4]. Продукти горіння нагрівають наступні шари, які зазнають тих же фізичних процесів і хімічних реакцій.

Пари, що утворилися в результаті випаровування конденсованої фази, спалахують через певний час. У підсумку прогрівання і випаровування ВР відбуваються в одній зоні, підігрівання і підготовка пари до горіння – в іншій, а саме горіння – у третій. При горінні енергія передається конденсованій фазі шляхом теплопровідності через шар парової зони, що у цей час підготовлюється до реакції.

При сталому режимі горіння масова швидкість випаровування конденсованої фази дорівнює масовій швидкості горіння пари. Механізм горіння парової фази з деяким допущенням ідентичний механізму горіння вибухових газоподібних систем, наприклад, суміші водню або метану з киснем повітря. У цьому випадку об'єм газової

## **Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР**

---

---

суміші нагрівається нерівномірно та інтенсивна реакція запалювання виникає лише в тонкому шарі речовини, що підлягала безпосередньому впливу високої температури від джерела тепла. Теплова енергія цього шару передається найближчому шару газу і, нагріваючи його, викликає інтенсивну реакцію. При цьому реакція поширюється від шару до шару, тобто горіння відбувається тільки в тому випадку, якщо теплота реакції нових шарів газу перевищує його тепловтрати. У протилежному випадку реакція не поширюється. Таким чином, механізм горіння складається в поширенні по газу теплової хвилі, що супроводжується і підтримується швидкою екзотермічною хімічною реакцією.

Швидкість горіння газових сумішей залежить від тиску, температури та інших факторів. Наприклад, для метаноповітряних сумішей за нормальних температур і тиску вона дорівнює декільком метрам на секунду.

Розглянутий механізм горіння ВР і ПС не є єдиним для всіх їхніх видів. Наприклад, при горінні нітроклітковини, що ініціюють, і деяких інших ВР істотну роль відіграють екзотермічні реакції, що протікають у конденсованій фазі, а також у частках речовини, диспергованих у газоподібних продуктах у результаті нерівномірності реакції в поверхневому шарі ВР.

### **6.2.2. Умови стійкості горіння**

К.К. Андреев і А.Ф. Беляев [4] показали важливе значення для стійкості горіння співвідношення між газопритокком і газовідтоком. Уявимо собі, що речовина, заповнена в циліндричну трубку, запалена і горить із торця. Гази, що утворюються, відтікають у напрямку, протилежному напрямку поширення горіння. Тиск у торця зростає. Він залежить від співвідношення між швидкістю газопритока і швидкістю газовідтоку. Газопритік і газовідтік зростають зі збільшенням тиску, але швидкості їхнього росту можуть бути різні. Співвідношення між газопритокком і газовідтоком змінюється залежно від характеру горіння і тиску, що утвориться.

Залежно від властивостей ВР і умов, за яких відбувається її горіння, можливі наступні випадки:

1) швидкість відтоку газів дорівнює швидкості їхнього утворення; у цьому випадку має місце стаціонарний процес горіння, тобто горіння зі сталою (постійною) швидкістю;



2) швидкість газопритоку більша за швидкість газовідтоку; у цьому випадку тиск у фронті горіння буде безупинно підвищуватися і швидкість горіння зростати.

Розглянемо залежності між газопритоком і газовідтоком для різних випадків.

Залежність швидкості горіння  $VP$  від тиску на підставі дослідних даних може бути виражена формулою:

$$u = a + bP^v, \quad (6.3)$$

де  $a$ ,  $b$  і  $v$  – коефіцієнти, що залежать від природи ВР.

Газопритік, належить до одиниці поперечного перетину, має вигляд:

$$m_1 = u\rho, \quad (6.4)$$

де  $\rho$  – щільність ВР.

При тиску над поверхнею ВР, рівному зовнішньому тиску  $P_0$ , газовідток дорівнює нулю. При подальшому підвищенні тиску газовідток збільшується і, починаючи приблизно з тиску, що вдвічі перевищує зовнішнє, збільшується прямо пропорційно тиску.

У другому випадку на початку горіння тиск росте, оскільки газоприток більший за газовідтік. Потім газоприток стає рівним газовідтоку. При подальшому підвищенні тиску газовідтік стане більшим за газопритік і тиск буде знижуватися до рівня, коли газовідток буде дорівнювати газопритоку. Отже, при цьому має місце стійке горіння ВР (випадок 1).

Якщо для даних ВР і умов досліду швидкість газопритока при росту тиску залишається завжди меншою за швидкість газовідтоку, то тиск під час горіння буде залишатися постійним. Навпаки, в умовах, коли газопритік зростає з тиском швидше за газовідток, цей тиск у фронті горіння буде підвищуватися. Підвищення тиску прискорює горіння, тобто збільшує газопритік в одиницю часу, що, у свою чергу, призводить до нового підвищення тиску. У цьому випадку баланс газопритоку і газовідтоку порушується, тиск і швидкість горіння швидко зростає, і за сприятливих умов горіння переходить у детонацію.

Як показує дослід, ІВР мають не тільки більшу швидкість горіння навіть при малих тисках, але і характеризуються різким збільшенням її

## **Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР**

---

---

з ростом тиску. Цим пояснюється характерна здатність ІВР легко детонувати при запалюванні – більша швидкість горіння обумовлює різкий динамічний підйом тиску над поверхнею палаючої ВР, що, у свою чергу, збільшує швидкість горіння до значень порядку швидкості детонації.

Вторинні вибухові речовини поведуться при горінні аналогічно ініціюючим тільки у випадках, коли діють фактори, що полегшують перехід горіння в детонацію.

### **6.2.3. Ініціювання горіння порохів**

У процесі горіння порохів розрізняють три стадії: запалювання, запалення (поширення горіння по поверхні) і горіння вглиб порохового зерна.

Запалюванням називають виникнення горіння в обмеженому поверхневому шарі пороху. Запалювання відбувається тим легше, чим потужніше його тепловий імпульс; крім того, легкість запалювання залежить від складу пороху, розмірів порохових елементів, характеру їхньої поверхні, структури пороху (пористий, суцільний) та інших факторів. Через те, що умови запалювання часто істотно відрізняються від дослідних умов визначення температури спалаху, далеко не завжди спостерігається відповідність між значенням температури спалаху і умовами запалювання. Наприклад, температура спалаху димного пороху дорівнює 290–310 °С, а колоїдного – 180–200 °С. Разом з тим, димний порох запалюється набагато легше, ніж колоїдний. Зернистий колоїдний порох запалюється легше, ніж порох з тієї ж порохової маси у вигляді стрічок, трубок, стрижнів, тобто великих порохових елементів. Так само пористе зерно легше запалити, ніж суцільне.

Розглянемо причину впливу фізичної структури на займистість ВР на прикладі двох порохових елементів, виготовлених з однієї і тієї ж порохової маси, але в першому випадку вона буде пориста, а в іншому – суцільна. Ці елементи розрізняються між собою величиною питомих поверхонь, тобто поверхонь, що припадають на одиницю об'єму речовини. У першому випадку вона буде більшою (пориста), у другому – меншою (суцільна); крім того, теплопровідність пористої речовини значно менша, ніж суцільної. Збільшення питомої поверхні і зменшення теплопровідності полегшують запалювання пористої речовини променем вогню, що діє на обмежений поверхневий шар. Істотно відмінні умови, за яких визначається температура спалаху: відбувається рівномірне і поступове нагрівання всієї маси речовини, питома поверхня і теплопровідність слабко впливають на результати

досліді, і температура спалаху виявляється однаковою для пористої та суцільної речовини.

Димний порох у вигляді пилу (порохова м'якоть) запалюється легше, ніж у вигляді зерен; причому димний порох запалюється легше за піроксиліновий.

Запаленням називають поширення горіння по поверхні, що має місце, головним чином, при горінні пороху в повітряному середовищі.

На думку К.К. Андреева [4], більша швидкість запалення пороху в повітряному середовищі (порівняно зі швидкістю горіння в глиб зерна) обумовлена тим, що при горінні на повітрі горючі речовини, що втримуються в порохових газах, змішуючись із повітрям, догорають за рахунок кисню повітря, при цьому температура полум'я підвищується. Внаслідок цього поверхневі шари пороху по контуру фронту горіння нагріваються полум'ям з більш високою температурою. Тому на повітрі запалення пороху відбувається швидше, ніж поширення горіння вглиб зерна. Так, наприклад, за даними цього ж автора, швидкість запалення перевищує швидкість горіння вглиб зерна в 3–5 разів.

Горіння пороху – це процес поширення реакції розкладання від поверхневих шарів углиб його зерен або більших елементів. Швидкість горіння пороху, як і всіх інших ВР і ПС, залежить від їхньої природи, фізичної структури, зовнішнього тиску (тобто тиску, за якого відбувається горіння) і в меншому ступеню – від початкової температури пороху.

Найбільш важливою характеристикою для колоїдних і димних порохів є залежність швидкості горіння від тиску. Для визначення цієї залежності – закону швидкості горіння – існують певні формули.

Так формула, що запропонована французьким ученим Вьєлем, має вигляд:

$$i = AP^{\nu}, \quad (6.5)$$

де  $i$  – швидкість горіння при тиску  $P$ ;

$A$  і  $\nu$  – величини, що залежать від природи пороху.

Вьель для звичайних димних порохів приймав  $\nu = 1/2$ ; М.Е. Серебряков для димних порохів, що горять повільно –  $\nu = 1/5$ ; Г.А. Забудский для піроксилінових порохів –  $\nu = 0,93$ .

Нині українські вчені рекомендують для визначення швидкості горіння порохів у різних інтервалах тисків користуватися наступними формулами:

## Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР

---

---

1) для тисків до 10 МПа:

$$i = a + bP^\nu \text{ і } i = bP^\nu, \quad (6.6)$$

де  $\nu$  для різних порохів становить від 0,7 до 0,95;

2) для тисків 10–30 МПа:

$$i = a + bP, \quad (6.7)$$

де  $a$  і  $b$  залежать від природи пороху;

3) для тисків вище 30 МПа:

$$i = U_1 P, \quad (6.8)$$

де  $U_1$  – коефіцієнт, що залежить від природи пороху і, меншою мірою, від його температури.

Швидкість горіння пороху росте зі збільшенням питомої теплоти згорання (калорійності).

### 6.3. Фізична модель процесу ударно-хвильового ініціювання промислових вибухових речовин

З позицій класичної теорії процес поширення детонації, що являє собою стаціонарний комплекс, який складається з ударної хвилі (УХ) і наступної зони хімічних реакцій, за А.Н. Дрьомінім, досить точно може бути виражений за допомогою відомих інтегральних співвідношень для фронту хвилі:

$$\rho_0 \sim \rho(D-i); \quad (6.9)$$

$$P = \rho u; \quad (6.10)$$

$$l - l_0 = 0,5P \left( \frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \right) + Q, \quad (6.11)$$

де  $\rho$  – щільність;

$D, i$  – відповідно хвильова і масова швидкості;

$P$  – тиск;

$l$  – питома внутрішня енергія;

$l_0$  і  $\rho_0$  – параметри середовища до фронту хвилі, які визначають працездатність ВР.

Доповнивши співвідношення (5.9), (5.10) і (5.11) експериментально обумовленими ударною адіабатою вихідного ВР і рівнянням стану газоподібних продуктів вибуху, можна за відомими параметрами ВР визначити необхідні параметри за фронтом детонаційної хвилі.

У процесі ініціювання раніше стабільний стан ВР за рахунок зовнішнього впливу переводиться як би в стан хиткої рівноваги. У результаті хиткої рівноваги можливий перехід до однієї зі стаціонарних форм вибухового перетворення – горіння або детонації. Важлива особливість детонації – незалежність швидкості поширення стаціонарної детонаційної хвилі від зовнішніх умов. Стаціонарність детонації визначається динамічною рівновагою між енергією, необхідною для поширення фронту УХ, та енергією, що виділяється в зоні хімічних реакцій детонаційної хвилі для підживлення фронту. Стаціонарність поширення фронту горіння також визначається динамічною рівновагою між енергією, необхідною для прогріву і запалювання шару ВР, який ще не відреагував, та енергією, що виділяється в зоні горіння. Зміни умов теплопровідності і швидкості відтоку газоподібних продуктів із зони реакції, що відбуваються при зміні зовнішніх умов, призводять до зміни режиму горіння – загасанню або переходу у вибух (детонацію).

Кількісної математичної моделі, яка повністю описує різноманітний процес ініціювання вибуху, що виникає в заряді ВР, дотепер не існує. Зокрема, розходження математичних моделей процесу горіння і детонації розуміється розходженням механізмів передачі енергії при цих процесах: при горінні – за рахунок теплопровідності, при детонації – за рахунок ударно-хвильових механізмів.

Для гомогенних, механічно однорідних ВР (газ, рідина, монокристал) характерне поширення ініціюючої ударної хвилі (ІУХ) від поверхні заряду протягом деякого часу. Потім найбільш прогрітою ударною хвилею частина ВР адіабатично запалюється. При цьому загальна кількість енергії ударного стиску, необхідна для розігріву частини ВР у місцях її локалізації, виявляється значно меншою, порівняно з енергією, яка необхідна для розігріву до температури спалаху всієї маси гомогенного ВР.

## **Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР**

---

Очевидно, чим вище інтенсивність ІУХ, тим більша величина (швидкість) хімічної енергії, що виділяється за фронтом, і тим скоріше ІУХ трансформується в детонаційну.

Під впливом ударного стиску ВР виникає ударна хвиля, у міру поширення якої за її фронтом відбувається підривне розкладання шару ВР, раніше прогрітих ІУХ. Ця так звана надшвидкісна детонаційна хвиля через якийсь час наздожене фронт, що ініціював її ІУХ, і трансформує її в стаціонарну детонацію.

Складніша справа з ініціюванням механічно неоднорідних, гетерогенних промислових ВР. У цьому випадку під впливом енергії, що виділяється при впливі ІУХ на частки ВР, виникають осередки розкладання ВР й утворюються мікрохвилі стиску. Можливо і загасання реакції розкладання в осередку після спалаху ВР у ньому.

Утворені в результаті розкладання ВР у осередках мікрохвилі стиску взаємодіють, викликають утворення нових осередків розкладання (можливе об'єднання групи осередків у деяку поверхню горіння), сприяють зміні умов плинучого реагуючого в такий спосіб заряду механічно неоднорідного ВР. Мікрохвилі стиску, поширюючись в усі боки від місця утворення, знижують вплив хвиль розвантаження, що поширюються, як правило, за фронтом ІУХ або ініціюючої хвилі стиску. Крім того, наздоганяючи фронт ініціюючої хвилі, вони сприяють підвищенню її інтенсивності і трансформації в детонаційну хвилю.

Для індивідуальних ВР (тротил, ТЕН та ін.) рівняння стану і закон кінетики розкладання ВР визначено з достатньою точністю, що дозволяє представити просторово-тимчасову картину динаміки трансформації ініціюючої ударної хвилі в детонаційну хвилю (ІУХ у детонаційну хвилю). Однак процес ударно-хвильового ініціювання промислових ВР, на відміну від індивідуальних ВР, має важливу відмінну рису через вибухове горіння в осередках за фронтом ІУХ, оскільки в процесі горіння індивідуального ВР хімічна реакція відбувається із самою молекулою ВР.

Промислові ВР, як правило, являють собою механічну суміш пального і компонентів, що окисляють. Це або сипучі матеріали у вигляді порошку або гранул із середньою насипною щільністю  $1 \text{ г/см}^3$ , або пластифіковані водою шари. На вибухових роботах у свердловинах або шпурах протягом деякого часу – до моменту підривання (від декількох діб до декількох тижнів) ВР можуть виявитися залитими підземними, ґрунтовими або промисловими водами, що спричиняє в ряді випадків необоротні зміни властивостей

зарядів ВР, які знижують їхню чутливість. З часом змінюється і структура заряду по довжині свердловини. За рахунок намокання частини заряду, що осаджується, утворюються ділянки зі зниженою щільністю або переущільненням. Така зміна в структурі значно впливає на умови поширення детонаційної хвилі по довжині заряду. Тому в промислових ВР процес ініціювання більш складний.

Склад і структура реагуючих компонентів промислових ВР приводять до того, що розкладанню ВР у парогазовій фазі в осередках розігріву за фронтом ІУХ передують процеси випаровування і дифузії. Витрати часу і енергії на ці процеси визначають збільшення ширини зони хімічних реакцій і швидкості поширення детонаційної хвилі. Так для алюмотолу 80/20 при  $p = 1,5 \text{ г/см}^3$  швидкість детонації становить 5300 м/с, а для тротилу тієї ж щільності – 6600 м/с. У силу різної акустичної твердості компонентів, що становлять заряд промислової ВР, процес дифузії трохи полегшується додатковим перемішуванням часток середовища за фронтом ІУХ. Розходження в масовій швидкості різних компонентів ВР за фронтом ІУХ також може призводити до виникнення додаткових осередків розігріву через зіткнення часток, тертя їх об сусідні.

Представлена фізична модель кінетики розкладання механічно неоднорідних ВР у загальному випадку дозволяє якісно пояснити всі відомі особливості ініціювання промислових ВР. Однак різноманіття явищ, неможливість їхнього експериментального вивчення, невизначеність математичного опису практично кожного з фізичних явищ, що визначають особливості хімічно реагуючого багатокомпонентного, багатозафазного середовища в промислових вибухових речовинах значно ускладнюють математичну модель ініціювання промислових ВР і роблять дуже важким теоретичне рішення даного завдання.

Тому вивчення процесу ініціювання промислових ВР виконується, головним чином, експериментальним шляхом з визначенням загальних інтегральних критеріїв, що обумовлюють кінцевий результат ініціювання. Разом з тим, можливі і наближені моделі, що дозволяють одержувати задовільні результати.

### **6.4. Мінімальний ініціюючий імпульс проміжних детонаторів для промислових ВР**

Режим вибухового перетворення промислових ВР багато в чому визначається параметрами ініціатора (детонатора), тобто швидкістю

## Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР

---

---

реакції, що він створює в осередку заряду, довжиною зони хімічної реакції та глибиною поширення ініціюючої ударної хвилі вглиб заряду, тиском на фронті детонаційної хвилі і часом його впливу. Так, зі збільшенням діаметра детонатора ростуть площа контакту з ініційованим зарядом і ефективною глибиною зони реакції в шарі ВР, що ініціюється. Отже, збільшення довжини ініціатора до відомої межі сприяє росту часу дії ініціюючого тиску, а також підвищенню ефективної глибини зони реакції.

В ідеальному режимі детонація по заряду без оболонки поширюється в тому випадку, коли довжина ефективної частини зони реакції  $l_{ef}$  дорівнює довжині всієї зони реакції  $l_p$ , що можливо тільки в тому випадку, якщо діаметр заряду дорівнює або більше граничного діаметра заряду  $d_{zp}$ . Граничним діаметром заряду називають такий діаметр, при якому швидкість детонації досягає свого максимального значення.

При  $l_p > l_{ef}$  детонація протікає не в ідеальному режимі, хоча і з постійною швидкістю, що є характерною для даних умов. У випадку зменшення діаметра заряду від граничного до критичного за інших рівних умов швидкість детонації буде знижуватися від ідеальної (граничної) до критичної  $d_{kp}$ . Значення критичного діаметра заряду  $d_{kp}$  для промислових ВР наведені в *табл. 6.1*. Діаметри зарядів, які використовують у гірничорудній промисловості, змінюються в межах 24–320 мм, у багатьох випадках діаметр заряду більший за критичний, але менший за граничний, тобто розвиток реакції в свердловинних зарядах відбувається не в ідеальному режимі. У зарядах, де  $d_{zp} > d_z > d_{kp}$  при діаметрі детонатора, що дорівнює діаметру заряду, у стаціонарному режимі детонації відбувається низькошвидкісний режим або перетиснена детонація. Низькошвидкісний режим виникає, коли час впливу ініціюючого тиску  $t_{in}$  менший за час дії тиску шару, що вибухнув, на наступний шар при стаціонарній детонації заряду. При цьому відбувається зниження тиску в осередку вибуху до величини, меншої, ніж за стаціонарної швидкості детонації. Стаціонарний режим у цьому випадку досягається "виходом знизу" і забезпечується завдяки випереджувальній дії хвилі стиску, що поширюється з осередку вибуху на попередні шари ВР, і підвищенню за рахунок цього швидкості процесу.



## Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин

Таблиця 6.1

### Критичні параметри промислових ВР

Вибухові речовини	Критичний діаметр, мм		Критична швидкість детонації, км/с	Ініціюючий імпульс, кгм/с	
	залежно від зовнішніх умов*	рекомендований для розрахунку		критичний	максимальний
Гранулотол (сухий)	10–100	60–80	2,4	38,0–88,0	186
Алюмотол (сухий)	10–80	70–80	2,4	63,8–88,0	88,0
Грамоніти:					
79/21	45–90	50–60	1,5	13,3–21,4	72,2
30/70	40–60	40–60	2,4	11,3–29,1	39,1
50/50	40–50	40–50	2,4	10,7–20,9	20,9
Грануліти:					
АС-8	80–100	80–100	1,5	56,5–111	111
АС-4	45–150	100–120	1,5	104–181	354
М	55–160	125–160	1,5	204–428	428
Ігданіт	120–150	120–150	1,5	181–354	354
Водонаповнені грамоніти 30/70, 50/50	50–60	50–60	4,4	57,5–99,1	99,1

Примітка: \* Міцність оболонки та інші фактори

Коли час дії ініціюючого тиску більший за час, що необхідний для забезпечення стаціонарного процесу ( $t_{in} > t_3$ ), то ініціюючий тиск, значення якого є функція різниці величин  $t_{in} - t_3$ , якийсь час відіграє роль поршня. При цьому розширення продуктів вибуху в зоні реакції починається пізніше, ніж при  $t_{in} < t_3$ . Однак разом з ростом швидкості детонації збільшується і швидкість головної частини хвилі розрідження. Причому остання інтенсивніше, ніж детонаційна хвиля, внаслідок чого надалі швидкість детонації незалежно від величини  $t_{in} - t_3$  буде знижуватися до швидкості, характерної для ініціюемого заряду, тобто стаціонарної швидкості. Ділянка перетисненої детонації, як показано в роботах Л.П. Орленко, наприклад, у тротиловому заряді діаметром 26 мм, ініціюемого ударом пластин до швидкості 7,4 км, становить не більше 25 мм [25].

Нестаціонарність перетисненої детонації характерна для штатних промислових ВР, що застосовуються нині в Україні і країнах СНД.

При діаметрі детонатора  $d_0$ , меншому, ніж діаметр заряду ( $d_0 < d_3$ ), що найбільш реально в практиці вибухових робіт, у зоні, що прилягає до підставки детонатора, може бути реалізований раніше описаний

## Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР

---

---

механізм (при  $d_0 = d_3$ ), але в крайових частинах заряду реакція буде відбуватися з відставанням або ВР буде просто розкидатися. У центральній же частині швидкість вибухового перетворення буде знижуватися до деякого свого номінального значення. Якщо діаметр детонатора близький до критичного для ініціюемого ВР, а час впливу недостатній, то може відбутися відмова навіть за швидкості ініціюючої хвилі, що значно перевершує швидкість стаціонарної детонації заряду.

Розрахунок критичних параметрів процесу ініціювання ВР, обумовлених, наприклад, критичним тиском  $P_{кр}$  ініціюючої хвилі для різних видів низькодисперсійних і водонаповнених ВР у реальних умовах гірського виробництва – досить важке завдання через багатофакторність, що визначає цю величину, а також недостатню вивченість кінетики хімічних реакцій, неоднорідність їх плину, відсутність даних за стиском і складність її визначення для більшості промислових ВР. Цю величину отримують експериментально або за допомогою деяких наближених методів з використанням найбільш доступних для визначення характеристик ВР.

Численні експериментальні дослідження дозволили знайти критерії ініціювання. Так Р.С. Саркісян для визначення умов ініціювання заряду ВР пластинами обрав поняття критичної потужності ініціювання:

$$N \approx \rho_{ВР} d^2 v^3, \quad (6.12)$$

де  $d$  – діаметр ударника (осколка);

$v$  – швидкість співударяння.

З цього співвідношення видно, що чим більша маса ВР залучена до ударно-хвильового процесу (великий діаметр плями контакту), тим меншою може бути швидкість ІУХ (менше тиск і швидкість співударяння). Б.И. Шехтером даний аналіз просторово-тимчасової картини розвитку детонації в заряді ВР при ударі осколка і визначенні критичні умови ініціювання для декількох гомогенних ВР. М.Я. Васильєвим як критерій ініціювання пропонуються параметри ІУХ у момент її формування з урахуванням часу дії зовнішнього ініціатора [6, 13].

Більш надійна, на нашу думку, методика визначення критичного тиску ініціювання  $P_{кр}$ , що запропонована Л.В. Дубновим і його колегами [6]. Однак, відповідно до цієї методики, при розрахунку маси детонатора не врахована взаємодія імпульсів ДШ і шашки ПД на наступне формування фронту детонації в основному заряді. Не

врахований і вплив напряму поширення фронту ініціюючої ударної хвилі в заряді. Наприклад, рух фронту детонації в шашці Т-400 М може відбуватися в будь-якому напрямку, тобто максимальний імпульс ударної хвилі може бути спрямований і на стінку підривної камери. Товщина шару ВР при цьому становить 0–320 мм. Таким чином, навіть максимальне значення цієї величини для більшості промислових ВР буде нижче  $I_p$ . Отже, у цьому випадку реальне загасання детонації в колонці ВР. Перспективний ПД із ініціюванням по центру шашки і фронтом детонації, що збігає з напрямком поширення фронту розвитку вибухового процесу по заряду.

Найбільш правильною є модель, побудована на принципові рівності імпульсів детонаційної хвилі детонаторів та ВР, що ініціюється, у критичному режимі, що дозволяє знайти  $I_{кр}$  ( $I_{min}$ ), достатній для ініціювання початку стійкої детонації в заряді при  $d_3 \geq d_{кр}$ . При цьому потрібно знати лише критичний діаметр і критичну швидкість детонації в ньому.

З деяким наближенням можна вважати, що для свердловинного і шпурового зарядів не вся енергія детонатора бере участь у розвитку реакції заряду, а лише енергія активної його маси  $m_a$  (спрямована по осі заряду). Значення цієї енергії (осьового імпульсу), за пропозицією К.П. Станюковича, можна розрахувати, користуючись такою залежністю:

$$I_d = km_a D_d . \quad (6.13)$$

При відношенні висоти  $h_d$  до діаметра  $d$  менше 2,25 (це відношення прийнято позначати  $a$ ) величину  $I_d$  знаходять із наступного рівняння:

$$I_d = \frac{8}{21} \left( \frac{1}{9} h d - \frac{4h^2}{91d_a} + \frac{16h^2}{4,81d_a^2} \pi \rho_{0d} d_a^2 \right), \quad (6.14)$$

де  $\rho_{0d}$  і  $D_d$  – щільність і швидкість детонації ВР детонатора відповідно.

Критичний імпульс вибуху має найбільшу величину для заряду без оболонки і може бути розрахований як:

$$I_{кр} = k \left( \frac{1}{12} \pi \rho_{03} d_{кр}^2 D_{кр} \right), \quad (6.15)$$

## Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР

---

де  $k = 8/27$ ;

$\rho_{0z}$  – щільність заряду ВР;

$d_{кр}$  і  $D_{кр}$  – відповідно критичні діаметр і швидкість детонації ВР, що ініціюється.

При відомому значенні  $I_{\min}$  детонатора можна, задаючи  $D_d$ , визначити його мінімально необхідну масу і, задаючи величину  $a$ , знайти геометричні розміри детонатора.

Розрахункові значення параметрів детонаторів перевірені експериментально із застосуванням шашок детонаторів з гексогену, тротилу і пентоліту діаметром від 2 до 75 мм і масою від 5 до 100 г.

Використання електромагнітної та магнітної методик, щодо широко застосовуються для дослідження індивідуальних ВР із метою вивчення процесу ініціювання промислових ВР, у реальних умовах експлуатації виявилось проблематичним через значну масу досліджуваного ВР і наявності оболонки (грунту).

Для цих умов найбільш прийнятною є методика, яка дозволяє досить просто (що надзвичайно важливо для масового експерименту) заміряти швидкості вибухового процесу в зарядах за допомогою осцилографа ОК-17М, сигнал до якого від іонізаційних датчиків надходить через тиратронний перетворювач. Дослідження проведені на зарядах грануліту ЛС-8, грамонітів 79/21 і 30/70 діаметром 100 мм, гранулолола діаметром 65, 75 і 100 мм у сухому і водонаповненому вигляді, амоніту № 6ЖВ і детоніту М діаметром 36 і 50 мм насипної щільності, а також акватолау 65/35 діаметром 65 і 100 мм.

Нижня межа ініціюючих імпульсів визначена з умови безвідмовного ініціювання ВР. При цьому враховано, що критичні діаметри гранульованих ВР, що залежать від розміру і форми гранул, їхньої кількості, щільності, виду селітри, пального тощо, коливаються в широких межах.

### 6.5. Процеси фракційної кристалізації бризантних вибухових речовин для засобів ініціювання

Одержання кристалів ВР необхідної форми і розмірів, пов'язане з механічним впливом на кристали ВР, є вкрай небезпечним технологічним процесом. Найбільш безпечним з існуючих методів одержання дрібнокристалічних ВР із певною формою кристалів є фракційна кристалізація з розчину [19].

Фракційна кристалізація широко застосовується в хімічній, нафтохімічній, коксохімічній, металургійній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості для одержання речовин високої чистоти.

За допомогою фракційної кристалізації вирішуються наступні основні завдання: поділ сумішей на фракції, збагачена тим або іншим компонентом; глибоке очищення речовин від домішок; виділення різних речовин з технічних і природних розчинів; концентрування розведених розчинів шляхом часткового відділення макрокомпонента або ж виморожуванням розчинника.

За характером фазового перетворення фракційну кристалізацію часто поділяють на кристалізацію з розплавів, розчинів і парової фази. У всіх випадках фракційної кристалізації вихідна суміш містить, принаймні, два компоненти, які у твердому, рідкому або газоподібному станах мають ту або іншу взаємну розчинність.

*Як приклад фракційної кристалізації наведемо кристалізацію октогену і ТЕНу для вітчизняного детонуючого хвилеводу (ДХ).*

У зв'язку з тим, що октоген є бризантною вибуховою речовиною, запропоновано використати фракційну кристалізацію з розчину.

Як розчинник використовують ацетон, розчинність октогену в якому становить 2,2 г/100 мл розчину за температури 25 °С [19]. Дослідженнями показано, що розчиняти октоген необхідно в ацетоні у співвідношенні 1:60. Як рідина, що осаджує, використана дистильована вода, модуль співвідношення води до розчину октогену 3,5 (за об'ємом). Швидкість витікання дистильованої води в ємність із ацетоновим розчином октогену 140 мл/хв. Фільтрація суспензії здійснюється за допомогою вакуум-лійки з попередньо змоченим дистильованою водою фільтрувальним папером ТУ за ДСТ 1202-76. У вакуум-лійці за допомогою вакуумного насоса створюється вакуум 0,06 МПа. Процес осадження 10 г октогену із суспензії здійснюється протягом – 5 хв. Промивання перекристалізованого октогену здійснюється спиртом етиловим технічним ГОСТ 17299-78, модуль співвідношення етилового спирту до октогену 5. Сушіння ведеться в сушильній шафі за температури 83–85 °С до постійної маси (5–6 год.).

За допомогою мікроскопа визначено, що кристали штатного октогену великі, масивні, а також значно відрізняються один від одного за величиною, що відображено на фотографіях (рис. 6.1).

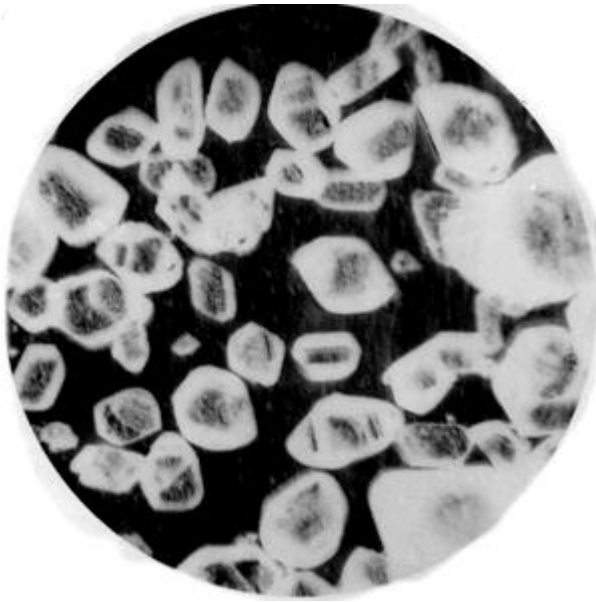


Рис. 6.1. Кристали неперекристалізованого октогену (збільшення  $\times 75$ )

За допомогою мікроскопа при збільшенні  $\times 75$  було визначено, що кристали невеликого розміру (далі – 1) мають поперечний переріз порядком 40 мкм, кристали середнього розміру (далі – 2) – порядком 160 мкм, кристали великого розміру (далі – 3) – 500 мкм. Щільність кристалів октогену  $\beta$ -модифікації 1960 кг/м<sup>3</sup>. Для розрахунку приймаємо, що кристал має кулясту форму. Отже, об'єм кристалів октогену для найменших кристалів 1:

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}3,14(2 \cdot 10^{-5})^3 = 3,35 \cdot 10^{-14} \text{ (м}^3\text{)}. \quad (6.16)$$

Об'єм кристалів октогену для середніх кристалів 2:

$$V_2 = 2,14 \cdot 10^{-12} \text{ (м}^3\text{)}.$$

Об'єм кристалів октогену для найбільших кристалів 3:

$$V_3 = 6,54 \cdot 10^{-11} \text{ (м}^3\text{)}.$$

Отже, маса кристалів октогену для найменших кристалів 1:

$$M_1 = \nu\rho = 3,35 \cdot 10^{-14} \cdot 1960 = 6,6 \cdot 10^{-11} \text{ (кг)}.$$

Маса кристалів октогену для середніх кристалів 2:

$$M_2 = 4,2 \cdot 10^{-9} \text{ (кг)}.$$

Маса кристалів октогену для середніх кристалів 3:

$$M_3 = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ (кг)}.$$

Таким чином, коливання розмірів кристалів штатної марки октогену становить від 40 до 500 мкм, а коливання маси кристалів октогену становлять 4 порядки – від 0,000066 до 0,13 мг. Використання такого октогену для ДС неможливе, оскільки нанесення ДС у порожнину трубки хвилеводу становить 20–30 мг/м, що у випадку кристалів 3 становить 123–184 кристалів на метр хвилеводу (масова частка октогену в сполуці порядку 80 %). Зрозуміло, що проходження детонаційного імпульсу в такому випадку неможливо, оскільки середня лінійна відстань між найближчими кристалами становить 6–8 мм.

В результаті фракційної кристалізації отримані однорідні моноклінні кристали октогену, які зображені на фотографії (рис. 6.2). За допомогою мікроскопа при збільшенні  $\times 75$  було визначено, що кристали перекристалізованого октогену мають форму тетраедра. Довжина грані тетраедра коливається від 40 до 60 мкм. Розкид не є істотним, приймаємо середню довжину грані кристала рівну 50 мкм. Для розрахунку приймаємо, що кристал має форму правильного тетраедра.

Отже, середній об'єм кристалів октогену дорівнює:

$$V_4 = 0,1179A^3 = 0,1179(5 \cdot 10^{-5})^3 = 1,47 \cdot 10^{-14} \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $a$  – довжина грані кристала.

Отже, маса кристалів октогену дорівнює:

$$M_4 = V \cdot P = 1,47 \cdot 10^{-14} \cdot 1960 = 2,9 \cdot 10^{-11} \text{ (кг)}.$$



**Рис. 6.2. Кристали перекристалізованого октогену (збільшення  $\times 75$ )**

Таким чином, середня маса кристала перекристалізованого октогену дорівнює 0,000029 мг, нанесення ДС у порожнину трубки хвилеводу становить 20–30 мг/м, таким чином, на метр хвилеводу наноситься 550000–800000 кристалів, що забезпечує рівномірну щільність нанесення їх у порожнину хвилеводу.

Результати випробувань показали, що такі кристали мають найбільшу чутливість до удару, а також рівномірно розподіляються по внутрішній поверхні детонуючого хвилеводу, забезпечуючи стабільність проходження фронту детонації в порожнині трубки хвилеводу (і також можуть бути використані в інших ЗІ).

Було отримано кілька експериментальних зразків ДХ на основі перекристалізованого октогену [19]. Результат випробування на чутливість до початкового імпульсу від капсуля КД-8 – всі випробувані зразки спрацювали. Нанесення даного ДС у порожнину трубки хвилеводу (лінійна щільність заряду) становила 8–58 мг/м, при діаметрі порожнини  $1,5 \pm 0,1$  мм. Поверхнева мінімальна і максимальна щільність заряду складала:



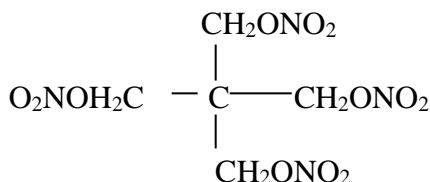
$$P_{i\min} = 0,008 / 0,00471 = 1,7 \text{ (г/м}^2\text{)};$$

$$P_{i\max} = 0,058 / 0,00471 = 12,31 \text{ (г/м}^2\text{)}.$$

Найбільш стабільні результати отримані при нанесенні  $25 \pm 5$  мг/м, тобто  $5,31 \pm 1,06$  г/м<sup>2</sup>. При лінійній щільності заряду вище 30 мг/м оболонку хвилеводу частково розриває.

Для підвищення чутливості ДС можливе введення до його складу більш чутливих кристалів ТЕНу. Розглянемо ці кристали і метод їх фракційної кристалізації.

ТЕН (пентаерітриттетранітрат) – бризантна ВР, молекулярна маса 316, біла кристалічна речовина, температура плавлення 141 °С, щільність 1770 кг/м<sup>3</sup>, теплота згоряння 1962 ккал/кг, швидкість детонації 8,35 км/с [19].



Введення штатного ТЕНу практично не вплинуло на детонаційні характеристики ДС, у зв'язку з тим, що кристали штатного ТЕНу мають значний розмір, а також значно відрізняються один від одного за величиною, що відображено на фотографії (рис. 6.3).

За допомогою мікроскопа при збільшенні  $\times 75$  було визначено, що кристали невеликого розміру 1 мають поперечний переріз порядком 120 мкм, кристали великого розміру 2 – порядком 570 мкм. Щільність кристалів ТЕНу 1770 кг/м<sup>3</sup>. Для простоти розрахунку приймаємо, що кристал має форму кулі. Отже, об'єм кристалів ТЕНу для найменших кристалів 1:

$$V_1 = 9,04 \cdot 10^{-13} \text{ (м}^3\text{)}.$$

Об'єм кристалів ТЕНу для найбільших кристалів 2:

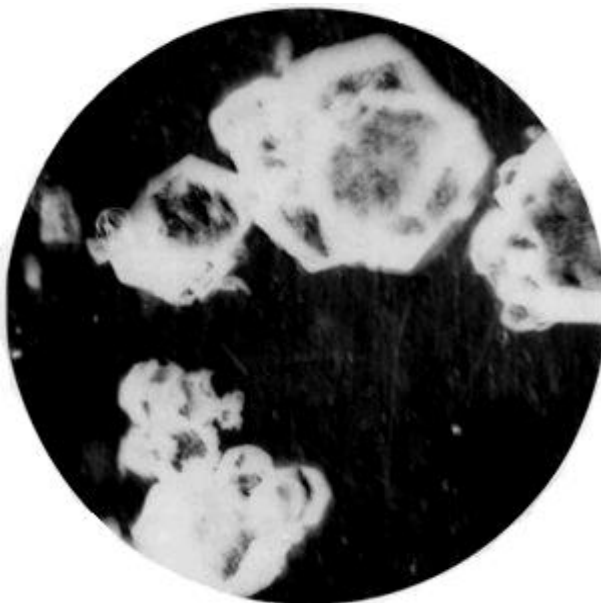
$$V_2 = 9,69 \cdot 10^{-11} \text{ (м}^3\text{)}.$$

Отже, маса кристалів ТЕНу для найменших кристалів 1:

$$\dot{I}_1 = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ (кг)}.$$

Маса кристалів ТЕНу для найбільших кристалів 2:

$$\dot{I}_2 = 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ (кг)}.$$



**Рис. 6.3. Кристали неперекристалізованого ТЕНу (збільшення  $\times 75$ )**

Таким чином, коливання розмірів кристалів штатної марки ТЕНу становить від 120 до 570 мкм, а коливання маси кристалів ТЕНу становлять 3 порядки, від 0,0016 до 0,17 мг. Використання такого ТЕНу для детонуючого складу неможливо, оскільки нанесення ДС у порожнину трубки хвилеводу становить 20–30 мг/м, що у випадку кристалів № 3 становить 28–42 кристалів на метр хвилеводу (масова частка ТЕНу в ДС порядком 24 %). Зрозуміло, що проходження детонаційного імпульсу в такому випадку неможливо, оскільки середня лінійна відстань між найближчими кристалами становить 24–35 мм.

У результаті фракційної кристалізації (за описаною вище методикою) отримано однорідні кристали ТЕНу, які зображено на фотографії (рис. 6.4).

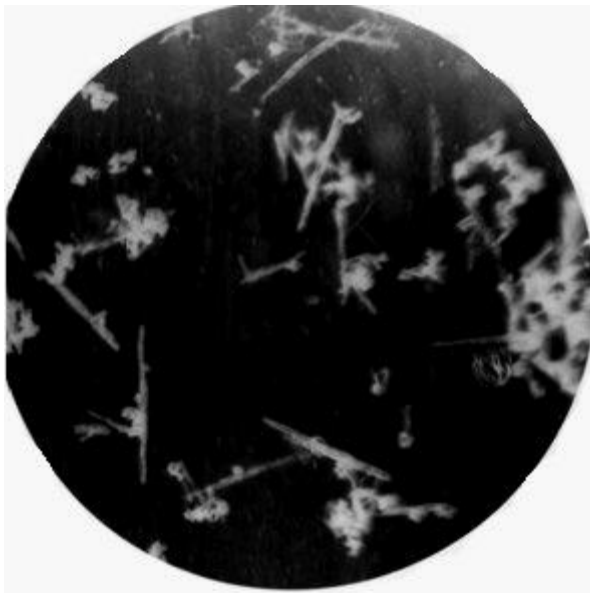


Рис. 6.4. Перекристалізований ТЕН (збільшення  $\times 75$ )

За допомогою мікроскопа при збільшенні  $\times 75$  було визначено, що кристали перекристалізованого ТЕНу мають голчасту форму. Довжина кристалів коливається від 150 до 220 мкм. Розкид не є істотним, приймаємо середню довжину кристала рівну 185 мкм. Середня товщина голчастого кристала 10 мкм. Для простоти розрахунку приймаємо, що кристал має форму правильного циліндра. Отже, середній обсяг кристалів ТЕНу дорівнює:

$$V_4 = \pi r^2 l = 3,14(5 \cdot 10^{-6})^2 1,85 \cdot 10^{-4} = 1,45 \cdot 10^{-14} \text{ (м}^3\text{)}.$$

Отже, середня маса кристалів ТЕНу дорівнює:

$$M_4 = VP = 1,45 \cdot 10^{-14} 1770 = 2,6 \cdot 10^{-11} \text{ (кг)}.$$

## **Розділ VI. Фізичні процеси детонації, моделювання ініціювання вибухового перетворення, процеси кристалізації ВР**

---

---

Таким чином, середня маса кристала перекристалізованого ТЕНу дорівнює 0,000026 мг, і відрізняється від середньої маси кристала перекристалізованого октогену всього на 11 %, що дає можливість легко усереднити між собою суміш цих кристалів. Оскільки нанесення ДС у порожнину трубки хвилеводу становить 20–30 мг/м, на метр хвилеводу наноситься 185000–275000 кристалів ТЕНу, що забезпечує рівномірну щільність нанесення їх у порожнину хвилеводу.

Результати випробувань показали, що такі кристали мають більш високу, ніж в октогену і неперекристалізованого ТЕНу, чутливість до удару, а також рівномірно розподіляються по внутрішній поверхні детонуючого хвилеводу, забезпечуючи стабільність проходження фронту детонації в порожнині трубки хвилеводу (а також можуть бути використані в інших ЗІ).

## Розділ VII

### ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ІНІЦІУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВР І СИСТЕМ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ

#### 7.1. Загальні відомості

Як уже вказувалося раніше, існуючі системи ініціювання зарядів виконуються двох типів:

- електричні;
- неелектричні.

Електричні системи ініціювання за своєю безпекою до будь-яких електричних впливів (блукаючі струми, заряди статичної електрики, електромагнітні випромінювання, грозорозряди тощо) характеризуються (і відрізняються, відповідно, один від одного) чутливістю до блукаючих струмів (максимально можливий безпечний електричний струм, що проходить через електродетонатор і не викликає його спрацьовування) і до зарядів статичної електрики, оскільки електрична система складається із електродетонатора, приладу висадження і магістральної провідної мережі. Найбільш чутливим і вибухонебезпечним елементом у системі є ЕД при аналізі всіх аспектів – умов експлуатування, транспортування, монтажу, перевірок і висадження.

Існуючі в Україні та країнах СНД електродетонатори для шахт і рудників типу ЕД-8 (миттєвої дії), ЕД-У-Н (із уповільненням: у діапазоні від 20 до 10000 мс, 23 серії), ЕД-1-8-Т (миттєвої дії), ЕД-1-3-Т (із уповільненням і зниженою чутливістю до електричних впливів: у діапазоні від 20 до 10000, 23 серії), ЕДС-1 (для сейсмічних і геофізичних робіт) та інші характеризуються низькими технічними характеристиками за безпекою: безпечний струм не більше 0,9 А, стійкість до зарядів статичної електрики не більше 15 кВ. На жаль, у реальних умовах експлуатації вибухових систем і проведення вибухових робіт такі умови і наявність блукаючих струмів більше 0,9 А та зарядів статичної електрики більше 15 кВ далеко не рідкість. Наприклад, сама людина за певних умов може бути носієм зарядів статичної електрики до 15–30 кВ та ін.

Найбільш широко застосовувані передовими закордонними фірмами ЕД мають близькі до вітчизняних технічні характеристики за захищеністю від електричних впливів:

## Розділ VII. Перспективи розвитку засобів ініціювання промислових ВР і систем на їхній основі

---

---

– ЕД типу Полекс фірми "Шаффлер" (Австрія) мають безпечний струм до 4 А і не спрацьовують від розряду конденсатора ємністю 2500 пФ, зарядженого до 25 кВ між гільзою й закороченими проводами;

– ЕД типу НУ фірми "Динаміт Нобель" (Німеччина) з аналогічними характеристиками за захищеністю;

– ЕД типу ZEDN5A ФІРМИ "Збройовка" (Чехія) з аналогічними характеристиками за захищеністю;

– ЗД типу U фірми "Нітро Нобель" (Швеція) з аналогічними характеристиками за захищеністю тощо.

Однак рівень вказаних вище характеристик за захищеністю від електричних впливів не забезпечує належного (високого) рівня безпеки при вибухових роботах, особливо у воді, як доброму провіднику електричних імпульсів.

За кордоном і в Україні існують розробки нових високобезпечних електричних систем ініціювання.

Так фірмою "Nobels explosives Company" (Англія) у 80-х роках розроблена, і одержує все більшого поширення у Європі система ініціювання Magnadet, що містить звичайні штатні ЕД, спеціальні прилади висадження і контролю, магістральні проводи і спеціальні захисні вузли, через які здійснюється монтаж проводів ЕД до магістрального проводу. Сама система Magnadet в змонтованому вигляді має високі параметри безпеки до електричних впливів її неможливо ініціювати якими-небудь іншими вибуховими приладами або джерелами електроживлення. Однак у системі використовуються звичайні ЕД із проводами, тому в умовах експлуатування, транспортування і монтажу ці ЕД є джерелами підвищеної небезпеки.

Крім того, у випадку обриву хоча б одного з проводів ЕД від вузла захисту, електродетонатор Magnadet стає таким же небезпечним, як і звичайний ЕД, що призводить до гарантованої відмови заряду. Зазначений дефект не може бути виявлений, оскільки при перевірці підривної лінії перевіряються тільки магістральні проводи.

Захист від несанкціонованих вибухів забезпечується за рахунок застосування у вибуховій лінії на проводах ЕД мініатюрних трансформаторів, що являють собою феритове кільце з первинною та вторинною обмотками із зовнішнім діаметром 20 мм. Вторинна обмотка трансформатора приєднується до проводів ЕД; через феритове кільця проходить магістральний провід, при подачі по ньому напруги від вибухового приладу (частота струму 12–15 кГц, напруга 6000 В) у вторинній обмотці індукуються струм.

За ступенем безпеки щодо блукаючих струмів, радіо- і частотного випромінювання система Magnadet порівняна з неелектричними системами висадження.

За кордоном і в Україні є розробки нових систем ініціювання на основі високовольтних ЕД (з містком, що вибухає) і без ІВР, що забезпечує захист від всіх блукаючих струмів, зарядів статичної електрики до рівня енергії спрацьовування ЕД. Однак і ці системи мають істотні недоліки: для ініціювання потрібна прокладка магістральної лінії спеціальним низькоіндуктивним кабелем, обмеження по довжині підривної лінії, групове висадження вимагає дуже потужних вибухових установок, самі високовольтні ЕД тільки миттєвої дії й не можуть створити систему висадження зарядів з різночасністю спрацьовування між собою.

Крім того, є нові розробки електричних систем ініціювання з дуже високим рівнем захищеності від електричних впливів, що дозволило закріпити за ними термін "нечутливі" системи.

В основу розробки покладений принцип поділу первинного і вторинного ланцюгів засобу висадження, тому тільки спеціальним електричним сигналом від спеціального приладу висадження можна пустити в хід засіб висадження в цих нечутливих системах. Ці нові нечутливі системи знаходять все більшого поширення в різних галузях промисловості при вибухових роботах.

### **7.2. Система лазерного ініціювання зарядів ВР (оптична система ініціювання)**

Розробка та освоєння виробництва високоєфективних, безпечних в експлуатації, захищених від несанкціонованого застосування волоконно-оптичних систем висадження зарядів промислових вибухових матеріалів миттєвої й уповільненої дії – досить перспективна.

Оптична система ініціювання (ОПСІН) розроблена спільно українськими і російськими фахівцями. Суть принципу передачі ініціюючого імпульсу полягає у використанні світлопровідних синтетичних волокон, через які подається лазерний імпульс до детонатора, що містить світлочутливу сполуку.

Проблема керованого підривання просторово рознесеної системи зарядів є актуальною через сильні перешкоди при стандартному підриванні електрокабельними вибуховими пристроями. Наведене електромагнітне випромінювання (ЕМВ) викликає некероване

## **Розділ VII. Перспективи розвитку засобів ініціювання промислових ВР і систем на їхній основі**

---

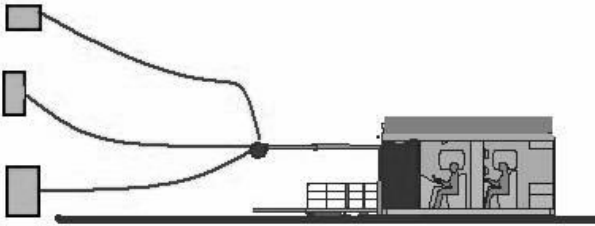
підривання вибухових матеріалів і знижує ефект від поверхневих розкривних робіт.

Волоконно-оптичні елементи практично нечутливі до ЕМВ ударної хвилі при підриванні ВМ і дозволяють створити регульовані затримки для передачі ініціюючого імпульсу ВМ. Спектральні методи рознесення підвищують надійність спрацьовування систем. Створення волоконно-оптичної системи підривання дозволяє керувати підриванням більших полів вибухових пристроїв з ефектом фазування ударної хвилі і створення фронту спрямованої ударної хвилі. Фазування ударної хвилі може створити когерентний ефект від одночасної взаємодії зарядів ВМ і кілька разів збільшити сумарну потужність зарядів.

Виробництво систем висадження ВМ на основі елементів волоконно-оптичної техніки дозволить підвищити безпеку вибухових робіт і практично виключити несанкціоноване використання вибухових матеріалів. Практичне застосування спектральних методів кодування дозволяє зробити ідентифікацію волоконно-оптичних детонаторів. Використання спектральної ідентифікації детонаторів дозволяє виключити несанкціоноване використання ВМ і підвищити надійність спрацьовування.

Нині уже розроблені і використовуються потужні волоконно-оптичні кабелі для передачі лазерного випромінювання на відстані до 1 км. Також розроблені: системи оптичного уведення випромінювання, а його виводу і система завадостійкого багатоканального керування підриванням поля зарядів ВМ на базі волоконно-оптичного кабелю зі спектральним рознесенням каналів ініціювання детонаторів ВМ, де кожен елемент просторово рознесеної системи зарядів ВМ має свій канал ініціювання, що спектрально рознесений від інших. Система функціонує на базі одного потужного волоконно-оптичного каналу і системи керованих оптичних перемикачів передаючих по волоконно-оптичному кабелю ініціюючі імпульси в локальні поля зарядів ВМ. Ініціюючі імпульси передаються зі стаціонарної лазерної станції потужністю в декілька кВт (рис. 7.1).





**Рис. 7.1. Варіант із використанням стаціонарного комплексу для ініціювання рознесених полів зарядів ВМ**

Пристрій лазерного ініціювання детонації вибухових речовин ОПСІН складається з відрізків ударно-хвильової трубки з капсулями і детонаторами, блока живлення лазерної системи, блока кодування сигналу, напівпровідникового лазера і фокусувальної оптичної системи. Блок живлення лазерної системи з'єднаний із блоком кодування сигналу, що допускає імпульсне включення лазера, який через фокусувальну оптичну систему впливає на запал.

### **7.3. Система електропідривання для гірничорудних робіт та імпульсної обробки матеріалів**

Нова безпечна система електропідривання для гірничорудних робіт нечутлива до блукаючих струмів до 500 А, зарядів статичної електрики до 35 кВ (це максимальна величина, перевірена на практиці; за наявності апаратури, що дозволяє провести випробування при більших значеннях зарядів статичної електрики, ця величина може бути уточнена), грозорозрядів, впливу електромагнітних полів, побутових і переносних джерел електроживлення напругою 500 В постійного струму і 380 В змінного струму частотою 50 Гц.

Ця система дозволяє підвищити безпеку ведення вибухових робіт в умовах виникнення блукаючих струмів, зарядів статичної електрики, впливу електромагнітних полів і вторинних проявів блискавок.

Нова безпечна система електропідривання на основі ЕД-24:

- підвищує надійність висадження за рахунок зниження відмов через витік струму в вибуховій лінії, а також за рахунок можливості

## **Розділ VII. Перспективи розвитку засобів ініціювання промислових ВР і систем на їхній основі**

---

дублювання самих ЕД-24 у проміжному детонаторі без дублювання підривної лінії;

- полегшує монтаж підривної лінії безперервним проводом без з'єднань і скруток;

- виключає навмисне або випадкове висадження поза сферою службового використання: приводиться в дію система тільки від приладу УВВ-1;

- забезпечує безпечне ведення вибухових робіт без відключення сусідніх силових ліній;

- забезпечує безпечне з'єднання електропідривання, донного ініціювання і пневмозаряджання.

Нова безпечна система електропідривання складається з електродетонатора ЕД-24, приладу висадження УВВ-1 та приладу контролю Р-214 і дозволяє з високою надійністю та безпечністю підривати до 100 зарядів одночасно (рис. 7.2).



**Рис. 7.2. Нова вітчизняна безпечна система електропідривання для шахт і рудників, безпечних за газом і пилом, та імпульсної обробки матеріалів**

ЕД-24 виготовляються миттєвої дії й з уповільненням: 15 серій у діапазоні від 20 до 10000 мс.

Максимальна здатність системи з ЕД-24 за довжиною підривної лінії обмежена омичним опором 50 Ом та індуктивним опором 0,8 мГн,

що на практиці, у випадку застосування найпоширенішого проводу ВП-0,8 (опір 37 Ом/км) як магістрального має значення, оскільки можливість монтажу підривної лінії 1400 м. Кількість ЕД-24 не грає ролі, тому що вони монтуються в лінію паралельно один до одного (шляхом просмикування магістралі через отвір у бобищі ЕД-24), тобто як один ЕД-24, так і 100 шт. ЕД-24 будуть мати однаковий опір – не більше 1 Ом. З метою збільшення можливостей безпечної системи збільшена потужність приладу висадження під індексом УВВ-1 М (він знаходиться у стадії перевірки), що дозволяє монтувати підривну лінію з проводів типу ВП-0,8 довжиною до 4000 м при одночасному висадженні ЕД-24 у кількості до 200 шт.

#### **7.4. Система електропідривання для сейсмозвідки**

Розроблена і впроваджена нова безпечна система електропідривання для сейсмозвідки на основі ЕДС-2, що повністю аналогічна системі для гірничорудної промисловості з ЕД-24.

Відмінності:

– ЕДС-2 миттєві дії з часом спрацьовування  $2,5 \pm 1,5$  мс і підвищеною водостійкістю надійно спрацьовує після впливу тиску води  $5 \cdot 10^5$  Па протягом 72 год.;

– прилад висадження виконаний у вигляді спеціального блока дешифратора існуючих сеймостанцій, щоб забезпечити повне стикування і взаємозамінність старої системи висадження для сейсмозвідки на нову – безпечну.

Нова безпечна система висадження для сейсмозвідки нечутлива до блукаючих струмів до 500 А, зарядів статичної електрики до 35 кВ, грозоразрядів, впливу електромагнітних полів, побутових і переносних джерел електроживлення напругою 500 В постійного струму і 380 В змінного струму частотою 50 Гц і дозволяє з високою надійністю і безпекою підривати до 100 ЕДС-2 одночасно.

#### **7.5. Термостійка система електропідривання для герметичної прострілочно-вибухової апаратури**

Нова безпечна термостійка система електропідривання для герметичної прострілочно-вибухової апаратури на основі вибухового патрона ПВЗП-Н нечутлива до блукаючих струмів до 500 А, зарядів статичної електрики до 35 кВ, грозоразрядів, впливу електромагнітних полів, побутових і переносних джерел електроживлення напругою

## Розділ VII. Перспективи розвитку засобів ініціювання промислових ВР і систем на їхній основі

---

500 В постійного струму і 380 В змінного струму частотою 50 Гц, а також:

- забезпечує запобігання і неініціювання детонуючого шнура у випадку розгерметизації прострілочно-розривної апаратури;

- дозволяє без ризику передчасного вибуху робити прострілочно-вибухові роботи в свердловині без відключення електрообладнання і без зупинки робіт на сусідніх свердловинах. Це сприяє підвищенню видобутку за рахунок продовження робіт на сусідніх свердловинах в умовах кущового буріння, на плавучих бурових установках і судах, на морських підставах і в умовах Крайньої Півночі;

- виключає необхідність на час проведення вибухових робіт забезпечувати силові й освітлювальні установки, що дозволяє поліпшити умови праці в зоні робіт у холодний період і темний час доби;

- виключає можливість випадкового або навмисного висадження від побутових або переносних джерел струму, а також від електричних мереж промислової частоти; приводиться в дію система тільки від приладу ПВР-1.

Система складається з вибухового патрона запобіжної дії ПВЗП-Н, приладу висадження ПВР-1 і приладу контролю ТЕСТ-ЕДТ (рис. 7.3).

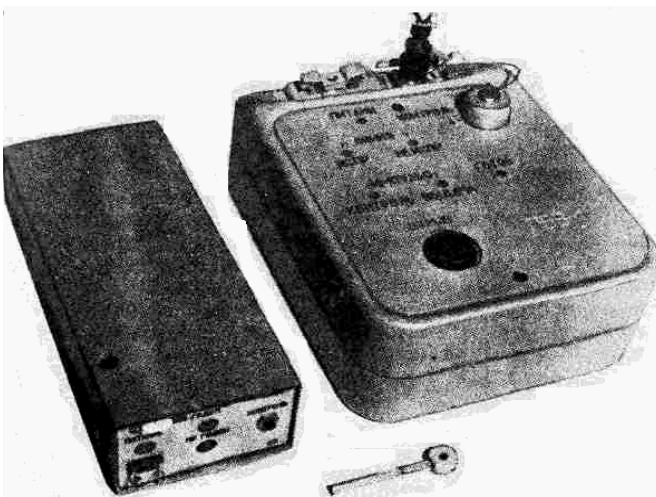
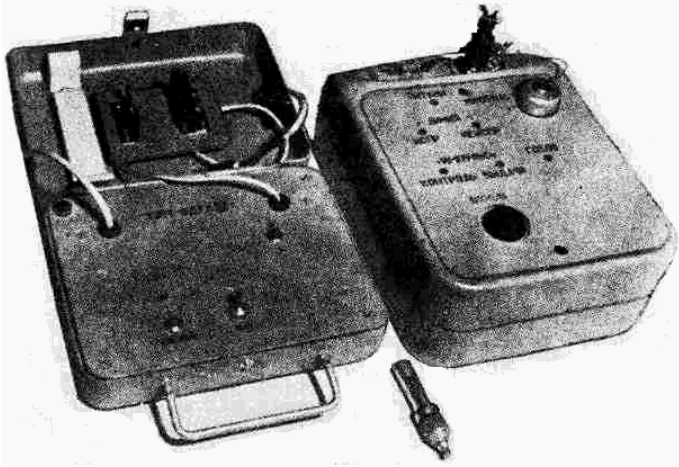


Рис. 7.3. Прилад висадження ПВР-1 і прилад контролю ТЕСТ-ЕДТ

### 7.6. Термостійка система електропідривання для негерметичної прострілічно-вибухової апаратури

Безпечна система електропідривання складається з вибухового герметичного патрона ПГН-150, приладу висадження ПВР-1 і приладу контролю ТЕСТ-ЕДТ-А (рис. 7.4).



**Рис. 7.4. Нові безпечні термостійкі системи електропідривання для герметичної прострілічно-вибухової апаратури**

Нова безпечна термостійка система електропідривання для негерметичних прострілічно-вибухової апаратури на основі вибухового патрона герметичного ПГН-150 нечутлива до блискавок до 500 А, зарядів статичної електрики до 35 кВ, грозорозрядів, впливу електромагнітних полів, побутових і переносних джерел електроживлення напругою 500 В постійного струму і 380 В змінного струму частотою 50 Гц, а також:

- забезпечує ініціювання детонуючих шнурів у негерметичній апаратурі, що спускається в глибокі і надглибокі нафтові та газові свердловини з температурою в вибої до 150 °С й тиском до 80 МПа свердловинної рідини;
- дозволяє, не побоюючись передчасного вибуху, робити прострілічно-вибухові роботи в свердловині без відключення електрообладнання і без зупинки робіт в сусідніх свердловинах;

## **Розділ VII. Перспективи розвитку засобів ініціювання промислових ВР і систем на їхній основі**

---

---

– виключає необхідність на час проведення вибухових робіт забезпечувати силові й освітлювальні установки, що дозволяє поліпшити умови праці в зоні робіт у холодний період і темний час доби, підвищити видобуток за рахунок продовження робіт в сусідніх свердловинах в умовах кущового буріння, на плавучих бурових установках і судах, на морських платформах і в умовах Крайньої Півночі;

– виключає можливість випадкового або навмисного висадження від побутових або переносних джерел струму, а також від електричних мереж промислової частоти; ініціюється система тільки від приладу ПВР-1.

## Розділ VIII

### ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ ІНІЦЮВАННЯ ТА ІНІЦЮЮЧИХ ВР

#### 8.1. Технологія виробництва електродетонаторів

Технологічний процес складається з таких основних операцій:

- виготовлення електрозапалювачів (ЕЗ);
- виготовлення КД;
- збирання КД із ЕЗ.

**Процес виготовлення ЕЗ** з еластичним кріпленням містка накалювання проводять у наступній послідовності. Перемотують електропроводи з бухт на котушки, виготовляють бунтики, до яких кріплять бирки з необхідним номером ступеню уповільнення електродетонатора. На проводі ЕД миттєвої дії бирки не кріплять: до 30 бунтиків поміщають у гнізда зборки і запресовують поліетиленові пробки на кінцях проводів. Далі лудять вилочки і до розведених їхніх кінців припаюють містки накалювання. На місток накалювання спочатку наносять запалювальний ПС, потім – другим шаром – інертний або запалювальний ПС. Готові головки ЕЗ вкривають нітролаком, сушать і проводять зовнішній огляд на наявність або відсутність дефектів у зборці.

При виготовленні ЕЗ із жорстким містком накалювання виконують наступні операції. Латунну стрічку знежирюють, лудять із одного боку, вирізують із неї смуги і вирубують гребені. На смугах стрічки кріплять затискачі і до них приварюють містки накалювання з ніхромового дроту. Зі смуг стрічки нарізають гребені, набирають їх по 50 шт. у спеціальні зборки. Потім на містки накалювання наносять перший шар запалювального ПС і поверх нього – другий шар займистої або інертної сполуки. Отримані головки ЕЗ лакують і оглядають на якість і цілісність сформованої головки.

**Виготовлення КД.** Набирають в 84- або 112-гніздові зборки заздалегідь виготовлені гільзи й офарблюють їх дно або нижню циліндричну частину в потрібні кольори, що відповідає номеру ступеню уповільнення майбутніх ЕД. Потім у гільзи засипають навішення гексогену, а ковпачки для гільз заповнюють відповідними порціями займистого ПС. Заповнені гільзи і ковпачки в спеціальних зборках піддаються груповому пресуванню. Далі виконують

## **Розділ VIII. Технологічні основи виробництва засобів ініціювання та ініціюючих ВР**

---

---

пресування в ковпачки другої порції гексогену з невеликим навішенням азиду свинцю, розташованого зверху. Наступна операція – розміщення в гільзах КД запресованих ковпачків, засипання і запресовування уповільнюючого ПС.

У готових КД чистять індустріальним мастилом дульця від можливих залишків ВР і ПС та покривають лаком ВЛ-7-5 або ВЛ-7-8 стики ковпачків з гільзою. Готові КД виштовхують зі зборки і піддають якісному огляду.

**Зборка КД із ЕЗ.** Готові КД завантажують у коробкоутримувач механізму автоматичної вставки напівавтомат ПДО-3. У його контактні затискачі навішують і кріплять провід електрозапалювача, сам електрозапалювач заправляють у каретку. Потім проводиться механічна вставка КД у цангу, напівавтомата де їм з'єднують ЕЗ обтиском по дульцю гільзи. Готові ЕД перевіряють на опір електроструму на автоматі ПКС-2, оглядають на зовнішні дефекти та упаковують.

### **8.2. Технологія виробництва термостійких електродетонаторів**

Технологічні операції при виготовленні ТЕД виконують у наступній послідовності.

Пари провідників у прес-формах обпресовуються у вигляді колодочок прес-матеріалом. Знімається ізоляція з кінців проводів колодочок. Оглядається зовнішній вид проводів, вибірково вимірюється довжина зачищених ділянок. Зачищені ділянки проводів колодочок залужуються опусканням їх по черзі спочатку у флюс, потім у припій з наступним промиванням спочатку у воді, потім у спирті (етанолі). Пайка містків накаливання здійснюється в наступній операційній послідовності:

- зачищаються торці контактів на колодочці шліфувальною шкуркою і протираються сухою бавовняною серветкою;
- набираються колодочки в 20-гніздову зборку кінцями проводів униз (контакти розташовуються в одну лінію, а проводи звертають в бунтики);
- наноситься флюс на місця пайки;
- простягається ніхромовий дріт уздовж зборки над контактами і припаюється кінець до крайнього контакту, потім до іншого;
- зрізується лезом ніхромовий дріт між крайніми контактами колодочок;
- колодочки витягаються зі зборки й оглядаються місця пайки;



– промиваються містки накалювання почерговим опусканням колодочок спочатку в посудину з водою, потім – зі спиртом.

Колодочки просушуються при кімнатній температурі в приміщенні, а потім у сушильній шафі, далі перевіряються опори містків накалювання.

Процес зборки містків накалювання при виготовленні ТЕД проводиться в наступній послідовності:

- вставляються колодочки в ковпачки;
- досилають вручну ковпачки з вставленими колодочками в матриці групової зборки, з'єднаної з фігурним піддоном, у який укладаються вивідні проводи колодочок;
- проводиться насипка запалювальної сполуки в ковпачок зборки через насипний прилад і пресування;
- насилається ІВР у ковпачок через інший насипний прилад;
- проводиться перша насипка через насипний прилад БВР у ковпачок;
- пресується ІВР одночасно з першою насипкою БВР у ковпачок;
- проводиться насипка БВР та його пресування із чашечкою у ковпачок;
- протирається дульце кожного виробу ватою, яка накручена на дерев'яну паличку і змочена спиртом;
- вироби по черзі протираються сухою бавовняною тканиною по зовнішній поверхні;
- вироби герметизуються клеєм по стику ковпачка із чашечкою і з боку видимої частини колодочки. Готові ТЕД піддають контрольній перевірці на електроопір, огляду на зовнішні дефекти і відправляють на впакування.

### **8.3. Технологія виробництва детонуючих шнурів**

#### **8.3.1. Виробництво детонуючого шнура марки ДШ-А**

Технологія виготовлення ДШ-А здійснюється у дві лінії на агрегаті, що складається із трьох видів обладнання: опліточного верстата, ванни водоізолюючого покриття і приймальної станції. Оплітчастий верстат має три диски: на перших двох здійснюються I і II оплітки, на третьому – III оплітка після першого водоізолюючого покриття.

Агрегат обладнаний вбудованими місцевими відсосами, приладом для контролю діаметра шнура, датчиком контролю обриву ниток і переривниками детонації двосторонньої дії для перебиття шнура у випадку можливого вибуху ВР в агрегаті.

Перед початком роботи нитки заправляють на обидві лінії агрегату, пропускають їх через вологоізолюючі ванни і закріплюють на прийомній станції. Потім насипають у лійку настановне навішення – 12,5 г ВР і включають верстат. Навішення необхідно рівномірно розподілити на довжину шнура ( $1\pm 0,05$ ) м. Після цього засипають у лійки опліточного верстата на обох лініях по 2 кг ВР (зазвичай кристалічного ТЕНу) і включають агрегат. У випадку обриву ниток, зменшення або збільшення діаметра виробу, зменшення продукту у лійці нижче встановленого рівня агрегат автоматично зупиняється для усунення несправності.

Котушки із ДШ після витрати 6 кг ВР на кожній лінії знімають із прийомної станції та направляють за допомогою підвісного транспортера в кабінку проміжного зберігання або безпосередньо до робочого місця огляду і різання виробів.

Для огляду і різання ДШ-А перемотують із котушки на розмотувальній станції верстата на котушку прийомної станції. При виявленні дефекту стовщення або зменшення діаметра, обриву ниток тощо вирізають дефектну ділянку шнура. Верстат оснащений приладом ПКДШ2-2 для контролю діаметра шнура, пристроями перебиття його у випадку вибуху і лічильником метражу. Намотані бухти шнура знімають із котушок і герметизують кінці ДШ ковпачками, а кінці ДШ-А – мастикою. Бухти загортають у папір і направляють на впакування.

### **8.3.2. Виробництво детонуючого шнура марки ДШ-В**

Основу ДШ-В готують на тридисковому дволінійному верстаті основної обмотки. Оплітчний верстат має три диски, на яких здійснюються три оплітки виробів.

Виготовляють вироби у дві лінії. Верстат обладнаний вбудованими місцевими відсосами шкідливих пилоподібних викидів, приладом для контролю діаметра виробу, датчиком контролю обриву ниток і переривниками двосторонньої дії для перебиття ДШ у випадку непередбаченого вибуху. Перед початком роботи нитки заправляють на обидві лінії верстата і закріплюють їх на прийомній станції. Потім насипають у лійку попередньо зважене навішення 14 г ВР і включають верстат. Навішення має розподілитися на довжину  $1\pm 0,05$  м. Після

встановлення правильності розподілу навішення на обох лініях у лійку оплітчного верстата засипають по 2 кг ВР і вимикають верстат. У випадку обриву ниток, зменшення або збільшення діаметра виробу, зменшення продукту у лійці нижче встановленого рівня верстат автоматично зупиняється для усунення несправності.

Котушки ДШ після витрата 6 кг ВР на кожній лінії знімаються із прийомної станції й направляються в кабінку для проміжного зберігання з наступною передачею їх у кабінку нанесення пластикової оболонки.

Нанесення поліхлорвінілової оболонки на виріб виробляється в окремій залізобетонній кабінці на черв'ячному пресі НП 32×25 або ЛШ-63. У головку преса встановлюють робочий інструмент (дорн, матриця); налагоджують необхідний технологічний режим його роботи. На головці та в зоні преса підтримують температуру в межах 118–137 °С і задану швидкість руху шнура. Потім засипають гранули пластику в бункер преса. Котушку зі шнуром установлюють на роздавальну станцію, а порожню – на приймальню. Далі порожній (без ВР) кінець шнура з котушки протягують до головки преса. Заправний шнур з порожньої котушки також пропускають до головки преса через ванни охолодження. Кінець заправного шнура зв'язують із кінцем порожнього шнура. У ванни охолодження пускають воду, а на обдувочний пристрій – повітря для остаточного охолодження і просушки шнура. Після цього включають приймально-тягнучу станцію, а потім і прес. Котушка зі шнуром, вкритим поліхлорвініловою оболонкою, передається на операцію огляду для виявлення внесених дефектів. Для цього на розмотувальну станцію верстата встановлюють котушку зі шнуром, а на приймальню – порожню котушку. При виявленні дефекту вирізують дефектні ділянки шнура. Верстат оснащений приладом ПКДШ2-2 для контролю діаметра шнура, пристроями перебивання виробу у випадку вибуху, лічильником метражу. Намотану бухту знімають з верстата і кінці шнура герметизують ковпачками. Бухти шнура загортають у папір і по стрічковому транспортеру направляють у відділення пакування.

### **8.3.3. Виробництво детонуючих шнурів типу ДШЕ**

Виготовлення шнура марки ДШЕ та інших аналогічних марок з поліетиленовим покриттям виробляється на напівавтоматичній екструзійній установці, що складається із черв'ячного преса і пристроїв витяжного, прийомного і шибєрного для видачі бухт, а також механізму завантаження дозатора.

## **Розділ VIII. Технологічні основи виробництва засобів ініціювання та ініціюючих ВР**

---

Підготовку установки до роботи здійснюють таким чином: приносять необхідні матеріали, інструменти і ковпачки для вдягання на кінці відрізків ДШ, заправляють нитки в розподільник, збирають і встановлюють інструмент, візуально перевіряють справність пристосувань, роботу руки-робота на холостому ходу, справність пристрою, що перебиває ДШЕ (за необхідності проводиться його заправлення), цілісність електричного ланцюга заземлення, роботу системи охолодження преса, справність контрольно-вимірвальних приборів. Потім, відвернувши кран, заповнюють ванну водою, встановлюють проточний режим подачі води із системи водообігу в сорочку ванни, перевіряють систему блокувань, вмикають паровий обігрів головки екструдера, перевіряють температуру і вологість приміщення, які мають бути не менше 19 °С відповідно і в межах 50–70 %. Ці параметри забезпечуються обладнанням для створення нормальних кліматичних умов у робочому приміщенні.

Температуру розплавлення поліетиленової композиції підтримують на рівні 130–135 °С. Після проведеної підготовки заправляють нитки в інструмент тягнучого барабана через тягнучий ролик перебивного пристрою, лічильний механізм і ніж різання браку в напрямку для порожнього виробу, потім вмикають охолодження філь'єри і шнека. Добиваються рівномірного покриття ниток поліетиленовою композицією; після цього відкривають щит огороження лійки, опускають її за допомогою кнопки на пульті керування і тумблером включають руку-робот, що подає ВР. Піддон з коробкою за сигналом датчика, що контролює досягнення необхідного рівня ВР, по лійці сходить із конвеєра, рука-робот захоплює коробку і транспортує її до лійки, висипає в неї продукт і після цього повертається у вихідне положення. ВР із лійки вільним витіканням надходить у філь'єру-дорт, де захоплюється нитками, ущільнюється, і в такому стані подається в екструзійну головку для нанесення оболонки з поліетиленової композиції.

Сформований виріб при безперервному русі проходить ванну охолодження, датчик натягу ослабленого шнура, переривник детонації і надходить у вузол мірного різання, де звертається в бухти.

Кінці ДШЕ герметизують алюмінієвими ковпачками. Бухти оглядають на зовнішні дефекти і за їх відсутності впаковують у папір, обмотують липкою стрічкою й укладають у конвеєр, що транспортує їх у приміщення пакування.

#### 8.4. Технологія виробництва проміжних детонаторів

Шашки-детонатори Т-400М, ТП-200 і ТП-400 пресують у великих кількостях (у зв'язку з високою потребою) з лускатого тротилу (зазвичай утилізованого) на високопродуктивних роторних автоматичних і звичайних напівавтоматичних пресах, установлених у міцних залізобетонних кабінах; оскільки операція пресування небезпечна (можливий випадковий вибух), проводиться вона під час відсутності людей. Прес-інструментом для даної операції є матриця з піддоном і пуансоном із загартованої сталі. Піддон має стрижень відповідних розмірів для утворення центрального наскрізного каналу в циліндричних шашках і гнізда на одній із площин у плоских шашках прямокутної форми. Центральний канал діаметром 14,5 мм призначений для розміщення пучка з 4 ниток ДШ із метою посилення його ініціюючої здатності для повної гарантії безвідмовного висадження зарядів ВР. Гніздо з плоских шашок діаметром 8 мм і глибиною 37 мм призначено для розміщення ЕД, оскільки вони широко застосовуються при електричному висадженні на сейсмозвідувальних роботах у геологічних партіях. Гірничорудні підприємства часто замовляють ці шашки без гнізд і використовують як ПД. Ініціюють їх у цьому випадку за допомогою 3–4 витків ДШ, намотаних на бічній поверхні шашок.

Процес пресування складається з наступних фаз:

- механічного просівання лусочок тротилу для видалення їхніх зростків (грудок) і сторонніх домішок;
- відмірювання навішень об'ємним способом для пресування з механізованою подачею їх у кабінку, безпосередньо в матрицю прес-інструмента;
- пресування;
- виштовхування шашок із прес-інструмента з видачею їх з кабіни;
- зовнішнього огляду і відбраковування шашок з неприпустимими дефектами;
- механічної обгортки шашок у папір з наступною її гідроізоляцією парафіною мастикою;
- упакування готових шашок у картонні ящики.

Здану щільність шашок при пресуванні (у межах 1,5–1,59 г/см<sup>3</sup>) забезпечують дотриманням маси ВР у відміряних дозах і режимом тиску пресування із застосуванням механічного обмежувача руху пуансона. Паперова обгортка необхідна для зменшення бою при

## **Розділ VIII. Технологічні основи виробництва засобів ініціювання та ініціюючих ВР**

---

---

транспортуванні і використанні, а гідроізоляція – для підвищення водостійкості.

Шашки ТГ-500 виготовляють методом виливання в ізложниці з піддном рідкої суспензії гексогену в розправленому тротилі, узятій в співвідношенні 60/40. Суспензію готують у чашоподібному котлі-плавителі періодичної дії або конусоподібному плавителі безперервної дії. Обігривають парою через сорочку плавителя. Температуру в момент готування суміші підтримують у межах 84–86 °С, не допускаючи її зниження нижче 80 °С у момент заливання суспензії в ізложницю. Піддон заливального інструмента має стрижень діаметром 14,5 мм, який виготовлений із загартованої сталі, а ізложниця – з паперової гільзи, що потім слугує оболонкою готової шашки після отвердіння її суспензії.

Виливання шашок здійснюють на конвеєрі, що рухається повільно. На один кінець конвеєра встановлюють піддони з паперовою гільзою і заливають у них суспензію, а з іншого знімають відлиті вироби після вирівнювання їхньої верхньої торцевої частини за допомогою переносного інструменту-оплавника, що обігривається парою. Є роторний автомат для безперервного виливання шашок у металеві ізложниці. Готові шашки поштучно або блоками загортають у папір і укладають в ящики.

Патронами-бойовиками, що застосовуються як ПД в підземних вибухових роботах, служать стандартні патрони діаметром 32, 45, 60 і 90 мм частіше амоніта 6 ЖВ, рідше – амоналу. Амоніт 6 ЖВ являє собою тонкодисперсну суміш кристалічної селітри із тротилом, узяту в співвідношенні 79/21. Його патронують на автоматичних апаратах, що набивають ВР щільністю до 1,0–1,2 г/см<sup>3</sup> у паперові гільзи.

### **8.5. Технологія виробництва детонуючих хвилеводів**

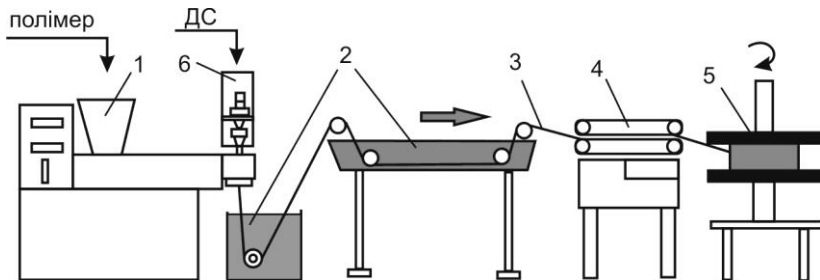
Виробництво детонуючого хвилеводу для неелектричної системи ініціювання – трифазний процес. На першому етапі одержують вибухову суміш заданих характеристик методом фракційної кристалізації. На другому – екстрагують полімерну основу хвилеводу і наносять на неї ДС. На третьому – методом спільної екструзії наносять другий і третій шари ДХ й отримує готовий виріб.

Для виключення небезпеки операції виготовлення основи хвилеводу вузол формування розмістили у локалізаторі, що повністю локалізує наслідки ініціювання ДС і можливість травматизму працюючого.

Схема технологічного процесу одержання першого шару (основи) детонуючого хвилеводу наведена на *рис. 8.1*.

Одержання основи хвилеводу відбувається так.

Полімер завантажується в бункер шнекового екструдера 1, за допомогою якого здійснюється плавлення полімеру і формування трубки основи хвилеводу. Екструдер 1 має три зони нагрівання, включаючи екстрагувальну головку. Температурні режими переробки по зонах екструдера встановлені як найбільш оптимальні для конкретного полімеру, що переробляється. Температурні режими переробки методом екструзії поліетилену високого тиску ПЕВТ 15803-020 стандартні для цих полімерів [19].



**Рис. 8.1.** Схема одержання першого шару (основи) хвилеводу:

1 – екструдери; 2 – ванни; 3 – основа; 4 – тягнучий пристрій;  
5 – пристрій, що змотує (котушка); 6 – вузол формування

ДС завантажується у мікродозатор вузла формування 6 і через порожнину в екструзійній головці подається в зону формування, у якій, завдяки високій адгезії між ДС і плавленим полімером за допомогою тертя, відбувається його налипання на полімер.

Основа, за допомогою тягнучого пристрою 4, витягується з вузла формування екструдера під кутом, що наближається до  $90^\circ$ . Між вузлом формування 6 і тягнучим пристроєм 4 основа хвилеводу проходить через ванни охолодження 2, які заповнені водою. Основа 3, що сформувалася за допомогою охолодження, пройшовши через тягнучий пристрій 4, надходить на котушку пристрою 5, що змотує, з'єднаного з тягнучим за допомогою ланцюгової передачі. З тягнучого пристрою котушка з основою, після проходження візуального контролю, передається на операцію нанесення другого і третього шарів хвилеводу.

## Розділ VIII. Технологічні основи виробництва засобів ініціювання та ініціюючих ВР

---

---

Другий і третій шари детонуючого хвилеводу за допомогою гарної адгезії між ними забезпечують необхідні міцнісні характеристики ДХ, безпеку при експлуатації (ізолюють основу хвилеводу із ДС від жорстких впливів навколишнього середовища і локалізують детонаційний фронт у порожнині хвилеводу), безпеку транспортування і зберігання хвилеводу.

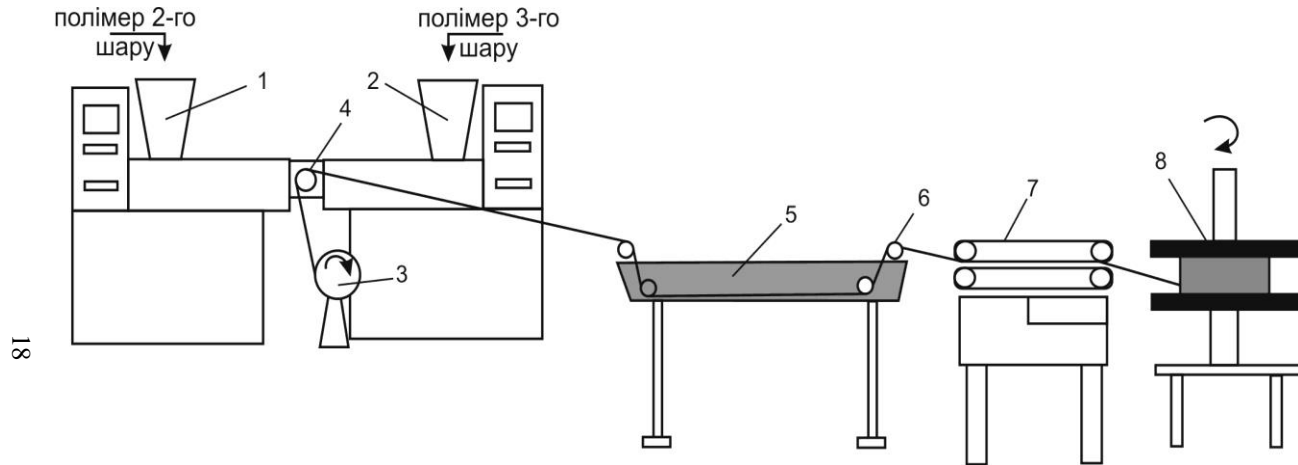
Нанесення другого і третього шарів хвилеводу здійснюється методом спільної екструзії (співекстрагування) плавленням полімерів другого і третього шарів. Суть методу полягає в одночасному формуванні другого і третього шарів хвилеводу. Схема процесу співекстрагування зображена на *рис. 8.2*.

Полімери другого і третього шарів завантажуються в бункери екструдерів 1 і 2 відповідно. Кожен екструдер має по три автономні зони нагрівання і четверту – спільну, що перебуває в з'єднуючій екстрагувальній головці 4. Температурні режими переробки за першими трьома зонами екструдерів установлені як найбільш оптимальні для конкретного полімеру, що переробляється. Температура в головці екструдерів установлюється як найбільш оптимальна для більше тугоплавкого полімеру. Температурні режими переробки методом співекстрагування поліетилену низького тиску ПЕНТ 273-83 і поліетилену високого тиску ПЕВТ 15803-020 стандартні для цих марок [19].

На виході із третьої зони нагрівання полімери другого і третього шарів хвилеводу мають різну температуру (температуру плавлення +30 °С). При швидкості технологічного процесу 11 м хвилеводу у хвилину, орієнтовний час знаходження плавлення полімерів в екструзійній головці становить 40–50 с. Отримані результати показують, що за цей час ПЕНТ 273-83 встигає нагрітися до 170 °С, тоді як ПЕВТ 15803-020 нагрівається до температури 150–155 °С.

Завдяки різниці температур, що задані у перших трьох зонах, екструдерів не допускається перегрів і деструкція полімеру з більш низькою температурою плавлення і переробки – ПЕВТ 15803-020. Викид шкідливих компонентів у повітря робочої зони мінімальний і знаходиться в припустимих межах, що дозволяє вважати процес співекстрагування безпечною операцією, що не впливає на здоров'я працюючого і не забруднює атмосферу [19].





**Рис. 8.2. Схема одержання другого і третього шарів хвилеводу методом співекстрагування:**

- 1 – екструдер переробки полімеру другого шару; 2 – екструдер переробки полімеру третього шару;  
 3 – пристрій для подачі основи хвилеводу; 4 – екстрагувальна головка з формуючим інструментом; 5 – ванна охолодження;  
 6 – детонуючий хвилевід; 7 – тягнучий пристрій; 8 – пристрій, що змотує (котушка)

## **Розділ VIII. Технологічні основи виробництва засобів ініціювання та ініціюючих ВР**

---

---

На виході з екструзійної головки 4 плав полімерів стикається один з одним і з полімером основи хвилеводу, що подається із пристрою для подачі основи хвилеводу 3 через порожнину в екструзійній головці в зону формування.

Тришарова композиція за допомогою тягнучого пристрою 7 витягується з головки екструдерів під кутом, що наближається до 90°. Між екструзійною головкою 4 і тягнучим пристроєм 7 основа хвилеводу з нанесеним на неї плавом полімерів другого і третього шарів проходить через ванну охолодження 5, заповнену водою.

Хвилевід 6, що сформувався за допомогою охолодження, пройшовши через тягнучий пристрій 7, надходить на котушку 8 пристрою, що змотує та з'єднана з тягнучим пристроєм за допомогою ланцюгової передачі.

Отриманий ДХ проходить вхідний контроль і передається на склад.

### **8.6. Технологія виробництва дрібнокристалічних ВР для детонуючих хвилеводів, шнурів і ПС**

Суміш ВР певної фракції використовується для виготовлення різних засобів ініціювання. Розглянемо її фракціонування і змішування на прикладі детонуючої сполуки до детонуючого хвилеводу вітчизняної НСІ.

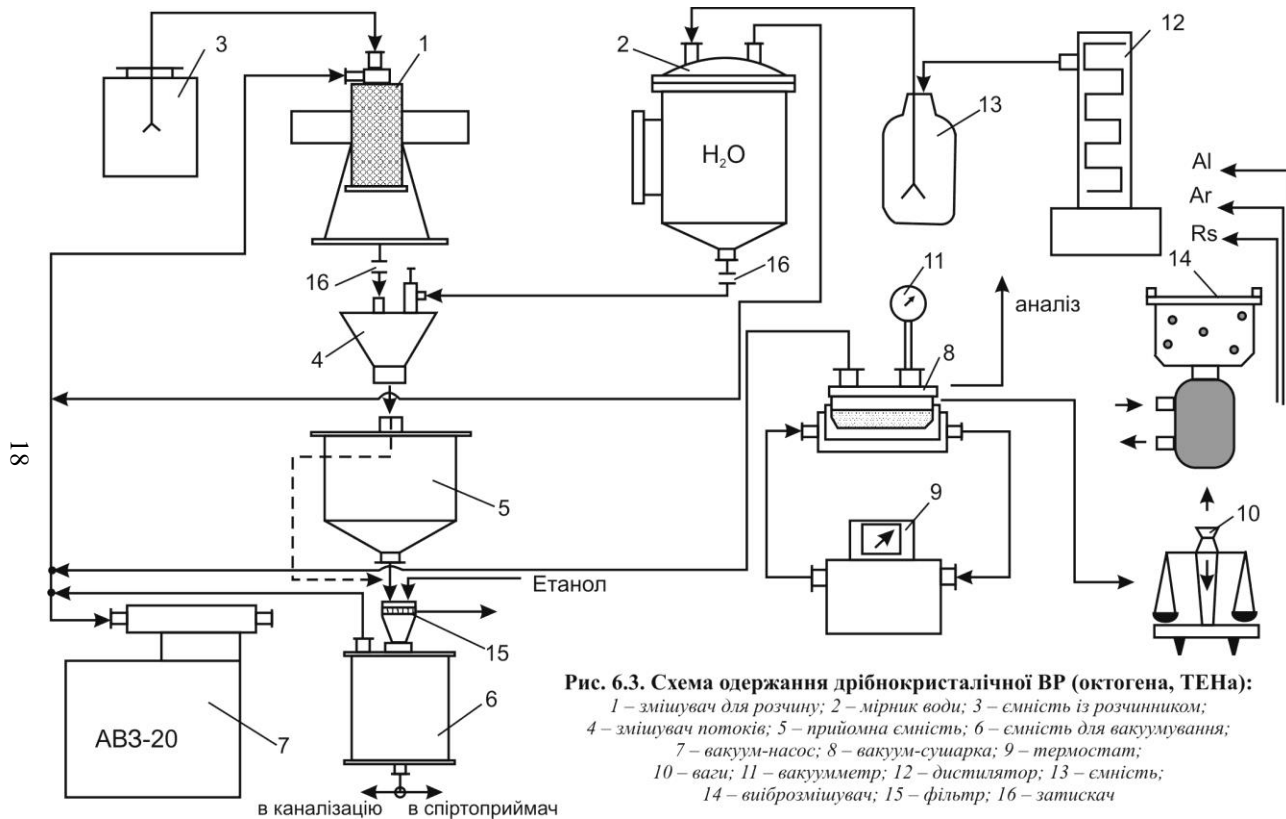
Для зниження небезпеки процесу одержання ДС всі операції, що містять механічний або термічний вплив на ВР, виконуються дистанційно, у кабіні, що локалізує можливе спрацьовування ВР. Кількість використовуваного ДС не перевищує кілька десятків грам.

Приготування ДС складається з наступних операцій:

- одержання дрібнокристалічного ВР (октогену, ТЕНу);
- змішування ДС;
- сушіння ДС [19].

Технологічна схема приготування ДС наведена на *рис. 8.3*.

Технологічний процес приготування ДС містить наступні операції: приготування робочого розчину; змішування потоків і фільтрація суспензії; промивання осаду; сушіння; змішування компонентів; пакування суміші.



*Приготування робочого розчину.*

Навішення октогену (ТЕНу) висипають через лійку в змішувач для розчину 1. За допомогою вакуум-насоса подають потрібну кількість ацетону в змішувач 1. Вмикають подачу стиснутого повітря, що потрапляє в порожнину пневмоциліндра, куліса починає обертатися на 180°, що приводить змішувач 1 у коливальний рух, при цьому відбувається змішування компонентів до повного розчинення твердих часток.

*Змішування потоків і фільтрація суспензії.*

Змішування потоків проводиться в змішувачі потоків 4. У мірник 2 з дистильованою водою і у змішувач 1 з робочим розчином подається стиснуте повітря. Звільняють затискач каналу подачі води, потім затискач каналу подачі робочого розчину. При змішуванні потоків води і робочого розчину на виході з вузла змішування потоків 4 виходить суспензія, що надходить у приймальну ємність 5. Із приймальної ємності 5 суспензія надходить на фільтр 15, де відбувається розділення твердої та рідкої фаз. Для прискорення процесу фільтрації фільтр 15 з'єднують із ємністю для вакуумування 6, що, у свою чергу, з'єднують із вакуум-насосом 7. Коли осад залишається на фільтрі 15, а рідка фаза збирається в ємності для вакуумування – вмикають вакуум-насос 7 і через зливальний кран зливають вміст ємності для вакуумування 6 у каналізацію.

*Промивання осаду.*

На фільтр 15 наливають етиловий спирт і здійснюють перемішування осаду дерев'яною лопаткою, після чого за допомогою вакуум-насоса відводять етиловий спирт у ємність для вакуумування 6. Через зливальний кран етиловий спирт із ємності для вакуумування 6 зливають у колбу, після чого тим же етиловим спиртом осад промивають ще раз.

*Сушіння.*

Заземленою металевою або дерев'яною лопаткою перекладають осад з фільтруючого елемента в чашку вакуум-сушарки 8 і рівномірно розподіляють його на її внутрішній поверхні. Ємність закривають кришкою.

Сорочка вакуум-сушарки 8, що обігривається, з'єднується з термостатом 9, а внутрішня частина вакуум-сушарки 8 – з вакуум-насосом 7 і вакуумметром 11. Температуру води у сорочці встановлюють відповідно із програмою робіт. Через 1,5 години по закінченню сушіння відкривають кришку вакуум-сушарки 8, виймають чашку і перекладають октоген (ТЕН) у металеву тару.

### *Змішування компонентів.*

Навішення компонентів роблять відповідно до регламенту робіт. Засипають компоненти й інертні тіла у чашку віброзмішувача 14. Чашку закривають гумовою прокладкою, фольгою і закріплюють за допомогою нарізних сполучень (гайок). Процес змішування відбувається за допомогою стиснутого повітря.

### *Упакування ДС.*

Приймальну чашку переносять на стіл навішень. На аналітичних вагах суміш фасують по 10 г і пакують у чисту суху герметичну тару.

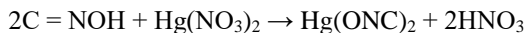
На кожен банку наклеюють ярлик.

## **8.7. Технологія виробництва ініціюючих вибухових речовин**

### **8.7.1. Технологія виробництва гримучої ртуті**

Гримучу ртуть одержують шляхом взаємодії металевої ртуті з азотною кислотою в присутності етилового спирту. Допоміжними технологічними добавками в цьому процесі є червона мідь і соляна кислота.

Хімічний процес [5] полягає в утворенні спочатку солі азотнокислої ртуті при взаємодії ртуті з кислотою. Остання вступає в реакцію зі спиртом, перетворюючи його через ряд проміжних хімічних реакцій у гримучу кислоту C-NOH, що, у свою чергу, на певній стадії процесу після обмінної реакції з азотнокислою сіллю ртуті дає ртутну сіль гримучої кислоти (фульмінат ртуті), має назву гримучу ртуть через її здатність легко вибухати від найменшого зовнішнього імпульсу.



Добавки міді і соляної кислоти сприяють кращому протіканню реакції між спиртом і азотною кислотою, збільшують вихід і поліпшують якість гримучої ртуті, дозволяють одержувати так звану білу гримучу ртуть, кристали якої мають білий шовковистий блиск і мають гарну сипучість, що полегшує технологію запрессування її в металеву чашечку при виготовленні КД.

Важливу роль у процесі одержання даної ІВР відіграють оксиди азоту, що виділяються при його утворенні.

Технологічний процес виробництва гримучої ртуті складається з наступних стадій:

- виготовлення розчину азотнокислої ртуті в азотній кислоті;

## Розділ VIII. Технологічні основи виробництва засобів ініціювання та ініціюючих ВР

---

---

- виготовлення проміжних продуктів (етилнітрату, ацетальдегіду та ін.);
- одержання сирової гримучої ртуті;
- промивання й очищення її від залишків кислоти та інших домішок;
- сушіння і сортування.

Температура реакції сягає 75–85 °С. Процес триває 30–50 хв., протягом яких на дно посудини випадають кристали сирової гримучої ртуті. Весь процес її одержання вимагає строгого дотримання всіх технологічних параметрів.

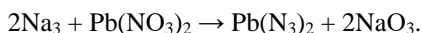
Сиру гримучу ртуть піддають очищенню. Для цього вміст реакційної посудини зливають на фільтр-лійку для відділення маткового розчину. Кристали, що залишилися на фільтрі із щільної тканини, промивають водою для видалення залишків кислоти та інших розчинних домішок. Промивання ведуть дистильованою водою або конденсатом до нейтральної реакції промивних вод, що відходять.

Вологу гримучу ртуть сушать у вакуум-сушильних апаратах на лотках за температури 50–60 °С протягом 40–60 хв. до залишкової вологості 0,05 %, потім охолоджують у цьому ж апараті до кімнатної температури, після чого зсипають з лотків у коробки місткістю 0,5 кг і відправляють у лъох на тимчасове зберігання за температури не вище 30 °С.

Крім описаного періодичного способу, можливий безперервний спосіб виробництва гримучої ртуті з автоматизацією деяких технологічних операцій.

### 8.7.2. Технологія виробництва азиду свинцю

Основною вихідною сировиною для одержання азиду свинцю служать азид натрію та азотнокислий свинець, допоміжними – декстрин, азотнокислий барій, їдкий натр, нітрит натрію й азотна кислота. Одержують його за реакцією обмінного розкладання між азидом натрію і азотнокислим свинцем:



Існують періодичний і безперервний способи виробництва [5].

Стадії технологічного процесу за періодичним способом:

- виготовлення водяних розчинів азиду натрію, азотнокислого свинцю і декстрину;

– очищення розчину азиду натрію від супутніх домішок карбонатів, луку та ін., які можуть дати високочутливі нестійкі з'єднання при утворенні азиду свинцю;

– проведення обмінної реакції між азидом натрію та нітратом свинцю з осадженням кристалів азиду свинцю;

– промивання й очищення кристалів азиду свинцю на вакуум-лійці від побічних продуктів реакції;

– сушіння азиду свинцю, упакування в переносні коробки і відправлення в льох на тимчасове зберігання для переробки в ЗІ.

Азид натрію у водяному розчині очищають від залишків луку нейтралізацією азотною кислотою, домішки карбонатів відокремлюють осадженням нітратом барію. Концентрацію очищеного азиду натрію доводять до 3 % розведенням водою парового конденсату. Розчин азотнокислого свинцю виготовляють 8 %-ої концентрації, а розчин декстрину – 5 %. Декстрин, що дає колоїдний розчин, застосовують для запобігання утворення великих кристалів азиду свинцю, незручних для технології пресування при виготовленні капсулів. У присутності декстрину утворюються округлі, приблизно однакового розміру дрібні кристали, які мають гарну сипкість, що дуже важливо для здійснення навішень при запресовуванні їх у чашечки КД. На кристалах адсорбується близько 0,5 % декстрину, що виконує роль їхнього флегматизатора.

Азид свинцю одержують у хромонікелевому реакторі з мішалкою і сорочкою, яка обігривається гарячою водою. Спочатку завантажують відміряну дозу розчину нітрату свинцю і підігривають до 55–60 °С, потім додають дозу розчину декстрину, після цього поступово, тонким струменем дозують розчин азиду натрію з температурою 20–30 °С, стежачи, щоб температура суміші не піднімалася вище 60 °С.

Відбувається обмінна реакція з осадженням кристалів азиду свинцю. Для їхнього відділення вміст реактора спускають на вакуум-лійку із щільним полотняним фільтром, де після відсмоктування маткового розчину роблять багаторазове промивання водою парового конденсату з наступним зневоднюванням за допомогою спирту. Матковий розчин і змивні води перед спуском у відстійник-накопичувач обробляють азотною кислотою з добавкою нітриту натрію для розкладання, що потрапили через фільтр дрібних кристалів азиду свинцю і можливих інших вибухових з'єднань.

Відмитий азид свинцю разом з фільтр-полотном переносять на робочий стіл, де його поміщають у лотки для вакуум-сушіння протягом 1–2 год. за 60–70 °С. Висушений продукт зсипають у

коробки і переносять у лъох на тимчасове зберігання. Споживають його в азидотенових і азидогексогенових капсулях, де заряд азиду свинцю становить 0,15 г.

### **8.8. Основи технології виробництва піротехнічних сполук**

Піротехнічні сполуки містять наступні компоненти: перхлорат калію, сурик свинцевий або діоксид свинцю як окислювач, сірку, феросиліцій і феросиліко-хром як пальне, добавки оксиду міді або заліза та деякі інші речовини як каталізатори горіння та цементатори для полегшення зв'язування порошкоподібних часток грануляції та пресування одержуваної за технологією порошкоподібної суміші. У як цементатор зазвичай використовують колоксилін у розчині.

Технологія виготовлення ПС складається з наступних основних операцій:

- підготовка компонентів: дрібнювання (наприклад, описаним вище методом фракційної кристалізації), просівання, сушіння;
- змішування компонентів (готування порошкоподібної сполуки);
- грануляція, пров'ялення і сушіння сполуки;
- сортування отриманої гранульованої суміші на фракції (придатне "зерно", велике "зерно" і "пил"). Останні дві фракції повертають на повторну переробку.

Всі перераховані операції механізовані, а деякі з них виконуються автоматично.

Операцію дрібнювання проводять у вібромліні ВМ-10 (або в апараті іншого типу) до тонкого помолу з необхідною питомою поверхнею одержаного порошку для забезпечення нормального протікання гетерогенної окислювально-відновної реакції у суміші ПС, що виготовляється. Здрібнені компоненти просівають через відповідні шовкові або металеві сита, потім сушать на стелажках у кабінах сушіння або термостатах до необхідної залишкової вологості, далі беруть рецептурні навішення і змішують їх.

Для різних сполук використовують два способи змішування: сухе і сире.

Сухе здійснюють у барабанах типу "равлик", а також у шкіряних обертових барабанах або вібромлінах, але без куль.

Сире змішування здійснюють у змішувачі типу АПС-3. При цьому способі до суміші вводять сполучну добавку (цементатор), розчинену



у відповідному розчиннику. Час змішування в обох способах регламентується технологічним процесом.

Грануляцію отриманих сполук здійснюють на планетарних віброгрануляторах типу ПВГ-1, ПВГ-2 або на апаратах просівання через два сита з різними отворами сіток необхідного розміру. Потім здійснюють пров'ялення гранульованих сполук при кімнатній температурі для видалення розчинника. Наступною операцією є сортування гранул на ситах – на придатне зерно і відходи крупних зерен і пилу. Розміри придатних зерен можуть змінюватись залежно від вимог, висунутих до ПС.

Остаточне сушіння гранульованого ПС відбувається на стелажах у кабінах або термостатах за температури 40–60 °С протягом 24–48 год. Вологість ПС після сушіння має бути не вища 0,2–0,3 %.

Із гранульованих піротехнічних уповільнюючих сполук пресуванням виготовляють циліндричні уповільнювачі потрібних розмірів і маси для відповідних ЗІ. Запальовальні і займисті ПС наносять на місток накаливання, як правило, у пастоподібному стані.

Підготовка компонентів ПС не належить до вибухонебезпечної операції, оскільки більшість із них не чутливі до удару і тертя. Самі ж ПС від удару і тертя можуть загорятися, а сполуки на основі перхлорату калію від сильного механічного впливу можуть вибухати. Тому операцію змішування компонентів і всі наступні проводять із дотриманням підвищених вимог техніки безпеки.

**Розділ IX  
ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ, ТРАНСПОРТУВАННІ  
І ЗБЕРІГАННІ ЗАСОБІВ ІНІЦІУВАННЯ**

**9.1. Основи побудови вибухобезпечних технологічних процесів виробництва вибухових матеріалів і засобів ініціювання**

Оцінка безпеки технологічного процесу при виробництві ВМ і ЗІ ґрунтується на порівнянні рівня вибухових властивостей матеріалу, що переробляється, тобто визначення умов досягнення критичних параметрів впливів, що призводять до початкового осередку загоряння і розвитку вибухових процесів, з одного боку, і рівнем впливів на ВМ і ЗІ вироблених у процесі його переробки, з іншого. Останній забезпечується надійністю і точністю роботи технологічних апаратів і контрольно-вимірювальних приладів. Точність апаратів і приладів, їх надійність визначають не тільки якість виробів із ВМ, але і безпеку їхньої переробки. Наприклад, в змішувальних апаратах для приготування паливних мас використовували дозуючі (для компонентів) пристрої високої точності, але, як виявилось, з недостатнім для забезпечення технологічного циклу виготовлення виробу часом роботи на відмову (низька надійність). Таким чином, у процесі роботи могла відбуватися зміна співвідношень компонентів палива з утворенням системи, що має підвищений рівень вибухонебезпечних властивостей, тобто утворенням системи з більш високою ймовірністю виникнення аварійної ситуації (що, природно, могло відбуватися і при недостатній точності цих пристроїв). Доробка дозуючих пристроїв у частині їхньої безвідмовності (надійності) підвищили вибухобезпеку виробництва даного класу палив.

При виборі технологічного процесу виготовлення виробу з обов'язковим забезпеченням вибухобезпеки процесу його виробництва необхідно керуватися:

– рівнем показників вибухових властивостей (чутливість до механічних впливів, схильність до переходу горіння у детонацію (ПГД), сприйнятливість до детонації тощо) не тільки кінцевого рецептурного регламентованого складу, але і проміжних композицій, з можливими відхиленнями вмісту вихідних вибухових компонентів від регламентованого складу;

– аналізом технологічних апаратів з погляду їх відповідності вимогам вибухобезпеки до рівня вибухових властивостей конкретного ВМ і ЗІ;

– категорією фаз виробництва залежно від рівня вибухозахисту обладнання для визначення заходів захисту обслуговуючого персоналу при аварійній ситуації.

Наведені положення не виключають вимог суто технологічного характеру (реологія, живучість, в'язкість тощо), що висуваються до ВМ і ЗІ. Однак ці питання тут не розглядаються, а звертається увага тільки на фактори, безпосередньо пов'язані з вибухозахистом при переробці ВМ і ЗІ.

Наприклад, перхлорат амонію (ПХА) у чистому вигляді є досить безпечним ВМ і організація його переробки (сушіння, здрібнювання, просівання) при виробництві ЗІ не вимагає застосування особливих заходів з забезпечення вибухобезпеки, оскільки він не горить при звичайних умовах, для його підривання необхідний потужний ініціатор з іншої ВР. Суміші ж ПХА з горючими порошками як органічного, так і неорганічного походження мають підвищений рівень вибухових властивостей, навіть при невеликому вмісті горючих добавок. Чистий ПХА з розміром часток 50 мкм не горить на відкритому повітрі, а тільки при тиску більше 3 МПа. Детонація в ньому може бути порушена при діаметрі заряду більше 30 мм за допомогою потужного проміжного детонатора. У той же час, суміш ПХА з 1,5 % горючої добавки горить на відкритому повітрі, детонує в діаметрі менше 10 мм і дає стійкий ПГД у стандартних умовах при довжині переддетонаційної ділянки 600–700 мм. Організація переробки таких сумішей пов'язана із застосуванням спеціальних вибухозахищених апаратів і організацією спеціальної фази виробництва.

У той же час, зміна порядку введення компонентів, введення горючих порошкоподібних добавок у суміш не вимагає створення спеціальної фази готування вибухонебезпечних сумішей ПХА з горючими добавками. Тому правильний вибір порядку введення компонентів дозволяє істотно спростити технологічний процес і підвищити його вибухобезпеку.

Крім того, проміжні продукти або їхні суміші можуть мати значно більш високий ступінь вибухонебезпечності, ніж кінцевий продукт. Наприклад, введення в змішувач одночасно всього навішення ПХА (або іншого окислювача, кристалічної ВР тощо) призводить до тимчасового утворення проміжних сумішей, які мають підвищену

## **Розділ IX. Охорона праці при виробництві, транспортуванні і зберіганні засобів ініціювання**

---

---

вибухонебезпечність, за рахунок високого вмісту окислювача і зниженої щільності сумішей. Завантаження необхідної кількості компонента окремими порціями значно підвищує безпеку фази змішування паливної маси.

Таким чином заходи щодо безпеки обслуговуючого персоналу і сусідніх виробничих будинків мають прийматися, виходячи з найбільш вибухонебезпечного стану продукції, що перероблюється.

Організація будь-якого технологічного процесу базується на застосуванні таких апаратів, конструкція і якість виготовлення яких відповідають вимогам безпеки. Використовувана у виробництві апаратура має відповідати наступним основним вимогам:

- тривалість наробітку на відмову (ресурс) апарата в цілому має перевищувати тривалість технологічного циклу технологічного процесу;

- рівень тривалих та імпульсних механічних впливів не має перевищувати критичних значень цих впливів, що викликають запалювання матеріалу, який переробляється;

- одноразове завантаження апарата, в якому є найбільша ймовірність виникнення вибухових процесів, має обмежуватися величиною, при якій забезпечується локалізація вражаючих факторів вибуху ВМ, що перероблюються у приміщенні, де розміщене обладнання. При цьому мають забезпечуватися безпечні відстані між будинками відповідно до галузевих правил;

- з метою зниження ефекту вибуху всі апарати, ємності, транспортні трубопроводи мають мати статичне і динамічне ослаблення, що забезпечує виконання граничних умов за відсутності переходу горіння у вибух (детонацію);

- фази виробництва й апарати, що з'єднані безперервним технологічним потоком продуктів, мають мати надійні розриви від місць концентрації ВР. Це може бути досягнуте як дискретністю виробництва, так і у вигляді аварійного розкриття і відсікання масопроводів.

Дотримання наведених вимог до конструкцій апаратів і умов їхнього використання є необхідною умовою забезпечення безпеки при виготовленні виробів. Однак виконання цих вимог у повному обсязі в ряді випадків викликає труднощі, пов'язані з відсутністю вихідних даних про властивості перероблюваних ВМ, матеріалів для виготовлення апаратів, присутністю так званого "людського фактора" та ін. Отже, у реальному виробництві не можна повністю виключити виникнення аварійної ситуації. Тому для захисту обслуговуючого

персоналу й обладнання встановлюються певні правила по обладнанню виробництв ВМ та їхньої експлуатації, в яких технологічні процеси і операції класифікуються за можливими наслідками (вибухонебезпечні і пожеженебезпечні) і масштабами аварій.

***Категорії небезпечних технологічних процесів:***

А – процеси (операції), при проведенні яких можливий вибух руйнує будинок і створює для оточення небезпечну зону.

Ал – процеси (операції), при проведенні яких можливий вибух локалізується в приміщенні (спорудженні) засобами захисту.

Б – процеси (операції), при проведенні яких імовірність вибуху не перевищує  $10^{-4}$  на рік.

В – процеси (операції), при проведенні яких можливе загоряння не локалізується усередині будинку (споруд) і створює пожеженебезпечну зону.

Г – процеси (операції), при проведенні яких можливе загоряння локалізується усередині будинку (споруд).

Критерієм такої класифікації є максимальна проектна аварія і такий підхід дозволяє в широких межах змінювати номенклатуру матеріалів і виробів з них, якщо завантаження ВМ не перевищує проектну, а можлива аварія не підвищує категорію будинку.

Вражаючі фактори, характерні для аварії із ВМ – ударна хвиля, осколки, висока температура, сейсмічна дія – є наслідками тих обставин, що процес енерговиділення при хімічних реакціях розкладання ВМ відбувається з великою швидкістю. Для кожного із цих факторів існує узагальнення їх експериментально визначеної інтенсивності, залежно від потужності і відстані до джерела, наявності захисних споруджень, перешкод, параметрів навколишнього середовища тощо. У більшості випадків загальний вид залежності інтенсивності вражаючого фактора  $I$  від потужності джерела  $m$  і відстані до нього  $r$  виражається формулою:

$$I = f(k m^b / r^a), \quad (9.1)$$

де коефіцієнт  $k$  і індекси  $a$ ,  $b$  змінюються в широких межах і залежать від виду вражаючого фактора, наявності і конструкції захисних пристроїв і споруд, ряду інших особливостей конкретного промислового об'єкта. Їхні значення наведені у відповідних розділах "Правил устроювання підприємств...".

## Розділ IX. Охорона праці при виробництві, транспортуванні і зберіганні засобів ініціювання

---

Зупинимося тут докладніше тільки на одному понятті: тротиловому еквіваленті (ТЕ) вибуху ( $\alpha$ ). Відомо, що максимальна величина ТЕ ВМ може бути визначена експериментально за вимірами параметрів повітряної ударної хвилі (ПУХ) як відношення маси тротилу до маси ВМ, еквівалентних по дії ПУХ, або, що іноді зручніше з достатньою для практики точністю, за співвідношенням значень теплоти вибухового перетворення конкретного ВМ і тротилу:

$$\alpha = Q(v)_{ВМ}/Q(v)_{ТНТ}, \quad (9.2)$$

де загальноприйнято рахувати  $Q(v)_{ТНТ} = 1000$  ккал/кг.

Однак наведена залежність справедлива тільки при повному виділенні енергії, тобто при детонаційному процесі. Величина тротилового еквівалента ВМ значною мірою впливає на розмір капіталовкладень у будівництво виробничих приміщень й їхнє розташування. Теплота вибухового розкладання сучасних ВМ досягає 1200–1700 ккал/кг, тобто величина ТЕ при детонаційному процесі буде становити (з урахуванням втрат) 1,2–1,7. При примусовому детонаційному процесі, як показують великомасштабні польові випробування натурних виробів, ТЕ може сягати значень 2,5–2,8.

Реальна ж величина ТЕ залежить не стільки від загального енергетичного рівня ВМ і ЗІ, скільки від можливості і ступеню реалізованості того або іншого вибухового процесу, що визначає кількість і швидкість виділення енергії стиснутих газів. Принципова можливість детонаційного процесу у ВМ ще не означає можливість його виникнення в реальних умовах переробки або експлуатації й тому не дає підстав використати максимально можливе значення ТЕ при визначенні вибухового ефекту. Наприклад, ВМ, що містять у своєму складі кристалічні ВР, є детонаційноспроможними вибуховими системами. Однак було б неправильно вважати, що загоряння паливної маси в змішувальному апараті або загоряння твердого палива в ізложниці, розрив виробів при стендових випробуваннях, призведуть до детонації, і тому вибуховий ефект необхідно оцінювати, виходячи з повного ТЕ. Інша справа, якщо технологічний потік продуктів має нерозривний зв'язок і у цьому потоці є хоча б один апарат, у якому може реалізуватися ПГД. Наприклад, якщо відбудеться загоряння порошкоподібної ВР у ємності або трубопроводі, що не відповідають вимогам відсутності ПГД, то в такому випадку ТЕ вибуху визначається за максимальним значенням, а ефект вибуху обчислюється із сумарного завантаження технологічного потоку. Так у

реальному виробництві чистий перхлорат амонію є, в цьому змісті, безпечною речовиною, не здатним давати ПГД. Тому його зберігання і переробка належать до категорії "Г". Однак, якщо його зберігання і переробку здійснювати одночасно з октогеном, гексогеном або іншим ВМ, здатним давати ПГД у реальних умовах (операції категорії "А"), то категорія у цьому випадку визначається з можливого результату аварії з найбільш вибухонебезпечним продуктом, і можливий ефект вибуху необхідно обчислювати із сумарного завантаження цих ВМ.

Організація сучасного виробництва ВМ спрямована на те, щоб виключити можливість таких явищ, і, як показує практика, реалізація детонаційного процесу при аварійній ситуації – подія вкрай рідка. Тому практичний ТЕ для технологічних сумішей і готових виробів значно нижчий, і ефект вибуху відбувається за рахунок згоряння значних кількостей ВМ у замкнутому об'язі. Як було показано А.Ф. Беляєвим [21], у цьому випадку "тротиловий еквівалент залежить від повноти перетворення ВМ у газ при безмежному адіабатичному розширенні":

$$A = P_1 V / (n-1) [1 - (P_2/P_1)^{(n-1)/n}] \quad (9.3)$$

де  $A$  – робота розширення, Дж;  
 $P_1$  – початковий тиск газів, МПа;  
 $P_2$  – атмосферний тиск, МПа;  
 $V$  – об'єм технологічного апарата, м<sup>3</sup>;  
 $n$  – показник адіабати продуктів горіння.

Можна розрахувати роботу вибуху при конкретних умовах загоряння, якщо об'єм апарата вимірюється в м<sup>3</sup>, а тиск у ньому в момент розриву – у МПа, то для оцінки ТЕ вибуху при згорянні ВМ у замкнутому об'ємі застосовують формулу:

$$C = 0,239 / (n-1) P_1 V [1 - (P_2/P_1)^{(n-1)/n}] \quad (9.4)$$

де  $C$  – еквівалент вибуху технологічного апарата, кг тротилу.

На підставі результатів полігонних випробувань технологічного обладнання, а також оцінки параметрів полів ураження вибуховими ефектами, що виникають при ураженні натурних виробів кулями й осколками, була отримана формула, зручна для інженерних розрахунків ТЕ розриву оболонки при горінні ВМ (без ПГД) у замкнутому об'ємі:

## Розділ IX. Охорона праці при виробництві, транспортуванні і зберіганні засобів ініціювання

---

$$C = kPV, \quad (9.5)$$

де  $C$  – еквівалент вибуху, кг тротилу;

$P$  – тиск розриву оболонки, МПа;

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>;

$k$  – емпіричний коефіцієнт, величина якого залежить від енергетичного рівня ВМ, стану поверхні горіння, швидкості наростання тиску при горінні ВМ або проміжних технологічних сумішей у замкнутому обсязі, ряду інших факторів коливається в межах від 0,1 до 0,2.

Прийнято вважати, що найбільшу небезпеку являє повітряна УХ, оскільки в зоні своєї дії вона вражає в будь-якій точці.

*Критерії ураження повітряною ударною хвилею при вибухах ВМ залежать від тиску у фронті ударної хвилі, кПа:*

– повне руйнування скла будинків і споруджень на максимальній відстані від центра вибуху 0,5–0,8 кПа;

– руйнування віконних прорізів, дверей, легких перегородок 1–1,5 кПа;

– повне руйнування цегельної кладки, легких бетонних споруджень 2–2,5 кПа;

– контузія людини 30–70 кПа;

– летальний результат >300 кПа.

При повному руйнуванні будинку і обладнання з утворенням вивр на 1 кг ВМ в еквіваленті тротилу викидається 0,05–0,06 м<sup>3</sup> ґрунту.

Це пояснюється тим, що при аварійному вибуху енергія витрачається не тільки на викид ґрунту, але й на деформацію обладнання, будинків, фундаментів тощо. Таким чином, застосовуючи наведені вище формули, можливо, з одного боку, раціонально розмістити будинки і спорудження, здійснити достатній захист персоналу, з іншого – провести коректну оцінку потужності вибуху та його наслідків при аварії із ВМ.

Для локалізації та/або зменшення інтенсивності вражаючих факторів місця, у яких може відбутися вибух, розміщують у спеціальних кабінах або будинках, здатних повністю або частково запобігти впливу вражаючих факторів на навколишні об'єкти. Будинки спеціальної конструкції дозволяють локалізувати вибухи, еквівалентні 2–3 т тротилу, і залишитися при цьому ремонтпридатними.

Зниження інтенсивності вражаючих факторів і звуження зони їх дії може забезпечуватися застосуванням обвалування як активних, так і пасивних будинків.



Крім того, будинки і споруди на території підприємства розміщуються на таких відстанях один від одного, щоб рівні впливу на пасивні будинки усередині території підприємства не перевищували встановлених припустимих норм (внутрішні припустимі відстані) і не могли заподіяти збитку за межами промайданчика (зовнішні безпечні відстані).

У тих же будинках, де запалювання ВМ, що перероблюється може закінчитися тільки пожежею, з метою зниження можливого збитку від аварійних вибухів застосовують легкоруйнуємі та легкоскидувані конструкції (ЛСК). До конструкцій, що руйнуються легко, належать скло віконних прорізів, руйнування яких забезпечує практично миттєве розкриття приміщення при мінімальному збитку. До конструкцій, що легко скидаються, належать поворотні засклені прорізи, стінові панелі і плити перекриттів, руйнування яких відбувається протягом деякого проміжку часу. У процесі спрацьовування ЛСК і виходу продуктів згоряння із приміщення відбувається зниження навантажень на обладнання, що призводить до значного зменшення збитку.

Практично всі будинки, в яких проводять роботи із ВМ, обладнуються системами автоматичного пожежезахисту – комплексом пристроїв, що виявляють загоряння і вмикають автоматичну подачу вогнегасної речовини (як правило, води). Для виявлення загорянь застосовуються датчики, що забезпечують надійне виявлення осередків загоряння і не дають помилкових спрацьовувань. Найчастіше це фотодатчики, що реагують на спектр випромінювання палаючої продукції. Системи подачі води мають різний час спрацьовування – від 0,1 до 10–30 с і обладнуються розпилювальними насадками різних конструкцій, вибір яких визначається завданнями, що ставляться перед конкретними системами пожежезахисту. Ефективність систем пожежезахисту при виробництві пожеже-небезпечних речовин (порохів, палив) може бути досягнута за умови подачі вогнегасного засобу в зону горіння при тиску 0,6–0,8 МПа не пізніше 2–3 с із моменту спрацьовування датчиків виявлення горіння, з інтенсивністю зрошення 4–6 л/с на 1 м<sup>2</sup> протягом не менше 10 с.

### **9.2. Загальні вимоги безпеки у виробництві засобів ініціювання**

Виробництво ЗІ належить до категорії вибухо- і пожеже-небезпечних, оскільки при їхньому спорядженні використовують високочутливі до зовнішніх впливів ВР, здатні в

## **Розділ IX. Охорона праці при виробництві, транспортуванні і зберіганні засобів ініціювання**

---

---

малих кількостях легко запалюватися і детонувати від зовнішніх теплових і механічних імпульсів, які можуть випадково виникнути в процесі роботи.

При виготовленні, випробовуванні, зберіганні і транспортуванні необхідно строго керуватися правилами виконання робіт і технікою безпеки, що викладені в нормативних технологічних документах: регламенті технологічного процесу виробництва та інструкціях робітників, які розробляють на основі нормативних положень "Правила експлуатації виробництв ВР і порохів", "Правила захисту від статичної електрики", ДСТУ, ТУ та інших директивних документів. На кожну технологічну операцію має бути складена робоча інструкція з відображенням правил виконання робіт і дотримання заходів безпеки.

Згадані Правила регламентують норми завантаження робочих місць вибухо- і пожежебезпечною продукцією, температуру (16–30 °С) і відносну вологість повітря ( $65 \pm 5$  %) у робочих приміщеннях. Спецодяг працюючих має бути бавовняним, який не здатним накопичувати в процесі роботи небезпечні для ВР і ПС електростатичні заряди.

Підлога взуття має бути електропровідними. Підлоги робочих місць також покривають електропровідним матеріалом, приєднаним до лінії заземлення. На робочих місцях, пов'язаних з перевіркою електричних параметрів ЕЗ і ЕД на відповідних приладах, настил підлоги під ногами і підставка під приладами мають бути з електропровідних матеріалів.

Обладнання на особливо небезпечних і небезпечних операціях (прес, прилади насипки ВР та ін.) має бути встановлене в захисних залізобетонних кабінах і обслуговуватися дистанційно з пункту, розташований поза кабінами.

Основне устаткування обладнують пристроями переривання поширення детонації при випадковому вибуху.

Використовуються термометри, що реєструють температуру в різних зонах, а також світлова і звукова сигналізація перевищення температури.

Для централізованого збору й реєстрації кількості виготовлених бухт ДШЕ і часу простоїв обладнання впроваджені автоматизовані реєстратори виробництва АРП-1М.

Інформація з АРП-1М за підсумками роботи за зміну обробляється за допомогою ЕОМ.

### **9.3. Загальні вимоги безпеки при виробництві ініціюючих вибухових речовин**

Виробництво ІВР належить до високонебезпечних технологічних і шкідливих для здоров'я працюючих процесів. У зв'язку з високою вибухонебезпечністю кількість одночасно одержуваних ІВР обмежена декількома кілограмами. До матеріалів і конструкції апаратів, режимів їхньої експлуатації висувають більш високі вимоги, ніж при виробництві БВР. По можливості всі технологічні операції механізовані, а найнебезпечніші з них – автоматизовані або керовані дистанційно – через стіну або інше укриття.

При проведенні процесу одержання ІВР потрібне суворе і неухильне дотримання послідовності технологічних операцій, норм завантаження апаратури і температурний режим, що встановлені заводським технологічним регламентом. Працювати з готовими ІВР, при сушінні, сортуванні, пакуванні, перенесенні в льох на зберігання і при їхньому використанні в ЗІ треба з максимальною обережністю.

Ініціюючі вибухові речовини, як і деякі вихідні види їхньої сировини, токсичні. Гранично припустима концентрація (у мг/м<sup>3</sup>) пари ртуті в повітрі робочої зони 0,01, пари свинцю – 1,0, пилу азиду свинцю – 0,2, пилу гримучої ртуті – 0,05.

Працівники у виробничих майстернях мають суворо дотримуватися правил виробничої й особистої гігієни; працювати тільки у відповідному спецодязі, захищати відкриті частини тіла та органи дихання і травлення від потрапляння ІВР і ртуті. По закінченні роботи обов'язкові теплий душ, полоскання рота із чищенням зубів.

### **9.4. Автоматизовані системи керування і контролю виробництва засобів ініціювання**

Розглянемо дані системи на прикладах автоматизованих систем керування технологічним процесом виробництва електродетонаторів і ДШ.

*Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва електродетонаторів.*

Розроблена і впроваджена автоматизована система керування технологічним процесом (АСКТП) зборки електродетонаторів на базі автоматизованого реєстратора виробництва АРП-1М (АРП-100М).

## **Розділ IX. Охорона праці при виробництві, транспортуванні і зберіганні засобів ініціювання**

---

Ділянка зборки ЕД складається із групи напівавтоматів ПДО-3 і працівників місць наприкінці потоку (на роторі) по перегляду і перевірці браку ЕД.

На кожному ПДО-3 є по чотири датчики:

- ДУВК обліку вставлених КД;
- ДУСБ обліку сумнівного браку;
- ДУБВ обліку браку за зовнішнім виглядом;
- ДУШ обліку придатної продукції.

На роторі встановлені датчики:

- ДУБС обліку браку з опору;
- ДУОБ обліку остаточного браку;
- ДУГП обліку придатної продукції;
- ДУОВ обліку загального виробітку із усього потоку.

З метою зменшення простоїв ПДО-3 і збільшення його завантаження, а також для організації правильного обліку виготовлених і дефектних ЕД, наступного аналізу виду, кількості і причин браку на ділянці збирання ЕД встановлений автоматизований реєстратор виробництва АРП-1М (АРП-100М). Він дозволяє керівництву ділянки і цеху одержувати інформацію про хід виробництва і вчасно вживати заходи для скорочення й усунення втрат робочого часу, браку, а також проводити його аналіз.

Вся первинна інформація про кількість придатних і дефектних ЕД, виготовлених як одним напівавтоматом ПДО-3, так і всією ділянкою, надходить від датчиків по лініях зв'язку в авторегістратор.

*Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва ДШЕ-12.*

Технологічний процес виготовлення ДШЕ-12 безперервний: капронові нитки проходять через гребінку в розподільне кільце, що рівномірно розподіляє їх по внутрішній поверхні прес-форми, установленій в головці екструдера. Витяжний пристрій протягує нитки через прес-форму, куди з дозатора подається ВР; одночасно екструдер подає в головку розплавлену поліетиленову композицію, обволікає нею оболонку з ниток з розташованою в ній ВР – відбувається формування ДШЕ-12. Потім проходить через ванну охолодження і надходить у циліндричний контейнер, що, безупинно обертаючись, формує бухти довжиною по 50 м. Підрахунок даних здійснюється електромеханічним лічильником. Установка має два контейнери. Як тільки сформувалася бухта в першому контейнері – спрацьовує ніж,

що відрубє бухту ДШЕ-12; спеціальний перемикаючий пристрій направляє сформований виріб у другий контейнер, де починається процес, аналогічний процесу в першому контейнері. Перший контейнер автоматично виводиться з кабіни, в якій змонтована установка, що скидає бухту ДШЕ-12 на стіл огляду.

Система виробництва ДШЕ-12 вирішує наступні функціональні завдання:

- контроль і регулювання рівня ВР у дозаторі;
- контроль за наявністю поліетиленової композиції;
- контроль і регулювання температурного режиму екструдера;
- забезпечення безпеки праці;
- облік продукції, що виготовляється;
- облік часу простоїв.

Схема, що забезпечує автоматичну роботу установки, побудована на елементах пневмоавтоматики й елементах електроавтоматики.

Завантажувальний пристрій автоматично підтримує в дозаторі рівень ВР у строго певних межах, що забезпечується нормальним протіканням технологічного процесу та умовами безпеки за допомогою датчика, що фіксує нижній рівень ВР. При зниженні рівня ВР у дозаторі датчик спрацьовує і подає керуючий сигнал на вмикання механізму подачі ВР. Екструдер здійснює безперервну подачу розплавленої поліетиленової композиції в зону формування ДШЕ. Розплавлення поліетилену в екструдері відбувається за допомогою електричних нагрівачів. Контроль і регулювання температурного режиму в різних зонах екструдера здійснюється спеціальними приладами з реєстрацією температури на дисковій добовій програмі.

### **9.5. Випробування засобів ініціювання**

Всі виготовлені і скомплектовані заводські партії ЗІ пред'являють ОТК на перевірку і випробування відповідності їхньої якості нормативно-технічним показникам, установленим відповідними ДСТУ або технічними умовами. Перевірку і випробування проводять за штатними правилами і методами. Об'єм вибірки тарних місць для приймально-здавальних випробувань різний для різних ЗІ. При прийманні КД і ЕД, ДШ, як найбільш відповідальних у роботі виробів, відбирають 10 % ящиків з великої партії, але не менше 5 ящиків при малих партіях.

## **Розділ IX. Охорона праці при виробництві, транспортуванні і зберіганні засобів ініціювання**

---

При прийманні спочатку візуально оглядають зовнішній вигляд і стан тари, відповідність та якість маркування. Потім у розкритих ящиках перевіряють стан внутрішнього пакування (коробок, бухт, пачок тощо), правильність їхнього укладання, кількість і комплектність вкладень, включаючи інструкцію із застосування ЗІ, оглядають вироби і звіряють відповідність їхнього зовнішнього вигляду еталонному зразку.

При огляді необхідно перевіряти на внутрішній і зовнішній поверхнях стінок гільзи відсутність пилу ВР, окислів металу, забруднень, вм'ятин і тріщин, сколів і висипань ВР. Діаметр і нециліндричність гільз перевіряють через прохідне кільце. У всіх ЕД, крім перевірки вище перерахованих дефектів, вимірюють довжину вивідних проводів, у ДШ і ВШ вимірюють довжину відрізків у бухті, оглядом перевіряють відсутність на оболонці переломів і тріщин, подряпин і здуттів тощо. Поряд зі 100 %-ми прийнятно-здавальними випробуваннями кожна 10-та партія ЕД може піддаватися періодичним випробуванням у процесі виробництва. При періодичних випробуваннях у кожній 10-ої партії ЕД перевіряють електричний опір, імпульс струму запалювання і безвідмовність спрацювання в групах по 20–100 шт. без попередньої витримки їх у воді.

Після проходження прийнятно-здавальних випробувань окремі партії ЗІ можуть бути піддані типовим випробуванням в об'ємі і за програмою, погодженими між їхніми розроблювачем і виготовлювачем. Такі випробування проводяться у випадках внесення змін у конструкцію виробу або його технологію в процесі серійного виробництва.

Завод-виготовлювач зобов'язаний поставляти зразки ЗІ, відібрані по одному з партії, на контрольну перевірку в один з інститутів по безпеці вибухових робіт (наприклад, у ДержНДІХП або ДержНДІБПГ) залежно від їхнього профілю і типу контрольованих виробів. Тут їх випробовують за всіма нормативними показниками. Поставку на контрольні випробування роблять у наступні терміни: всі ЕД – щокварталу; ДШ, РП-8 – два рази на рік; ВШ – один раз на рік. При надходженні до споживача всі партії ЗІ піддаються вхідному контролю, при якому перевіряють відповідність типу, сортності виробу і кількості тарних місць супровідної документації (паспорту, накладним квитанціям), роблять огляд зовнішнього вигляду та якості маркування виробів і тари, а при необхідності випробовують на

## **Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин**

---

---

відповідність основним нормативним показникам їхньої якості, зокрема, на безвідмовність спрацьовування від відповідного початкового імпульсу. Всі ЕД на складах при видачі підрильників для роботи проходять перевірку на цілісність містка накаливання і відповідність електричного опору даному його типу, зазначеному на етикетці коробки.

Після закінчення встановленого гарантійного терміну зберігання кожен партію ЗІ перевіряють на схоронність їхньої якості відповідно до нормативних показників і придатність до роботи або подальшого зберігання. Остаточний термін зберігання для одних установлень в 1 рік, для інших – півроку, після чого невитрачені вироби підлягають знищенню.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шукин Ю.Г. Средства инициирования промышленных взрывчатых веществ: Учеб. для техникумов / Ю.Г. Шукин, Г.Г. Лютиков, З.Г. Поздняков – М. : Недра, 1996. – 328 с.
2. M. Borkowski Bezpieczeństwo górniczych środków strzelowych wobec metanu i pyłu węglowego. Materiały wybuchowe i technika strzelnicza. Gliwice / M. Borkowski, M. Swetlik. – Krakow, 1993. – с.263–270
3. Гондусов С.А. Неэлектрическая система инициирования Nonel Шведской фирмы Nitro Nobel. Безопасность труда в промышленности. / С.А. Гондусов, И. Ернеруд. – 1996. – № 4. – с. 24-25.
4. Андреев К.К. Теория взрывчатых веществ / К.К. Андреев, А.Ф. Беляев. – М. : Оборонгиз. – 1960. – 352 с.
5. Багал Л.И. Химия и технология инициирующих взрывчатых веществ / Л.И. Багал. –М. : Машиностроение, 1975. – 256 с.
6. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества / А.Г. Горст.– М. : Машиностроение, 1972. – 240 с.
7. Граевский М.М. Справочник по электрическому взрыванию зарядов. / М.М. Граевский – М. : Недра, 1983. – 296 с.
6. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – М. : Недра, 1988. – 376 с.
7. Кушнеров П.И. Безопасность электровзрывания в шахте / П.И. Кушнеров. – М. : Недра, 1980. – 184 с.
8. Лурье А.И. Электрическое взрывание зарядов / А.И. Лурье. – М. : Недра, 1973. – 248 с.
9. Орлова Е.Ю. Октоген – термостойкое взрывчатое вещество / Е.Ю. Орлова, Н.А. Орлова, В.Ф. Жилин. – М. : Недра, 1975. – 380 с.
10. Орлова Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ / Е.Ю. Орлова – Л. : Химия, 1973. – 204 с.
11. Кравец В.Г. Разработка методов инициирования смесевых взрывчатых веществ / В.Г. Кравец, А. Воеводка, Б.Ч. Хаджиева, А.А. Фролов / Промышленные взрывчатые вещества и средства их инициирования. Матер. 1-ой Укр. науч. конференции. – Шостка Сумской обл. : ГосНИИХП. – 1995. – Вып. 1. – С. 27-31.
11. Петров Н.Г. Короткозамедленное взрывание в шахтах / Н.Г. Петров, Н.Л. Росинский. – М. : Недра, 1985. – 168 с.



12. Поздняков З.Г. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрыва / З.Г. Поздняков, Б.Л. Росси. – М. : Недра, 1977. – 208 с.

14. Григорян Н.Г. Прострелочные и взрывные работы в скважинах / Н.Г. Григорян, Д.Е. Пометун, Л.А. Горбенко. – М. : Недра, 1972. – 280 с.

15. Светлов Б.Я. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ / Б.Я. Светлов, Н.Е. Яременко. – М. : Недра, 1973. – 264 с.

16. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет / М.Е. Серебряков. – М.: Оборонгиз, 1962. – 258 с.

17. General Recommendations by the National Board of Occupational Safety and Health on the Implementation of the Previsos Blasting Work. AFS. – 1986. – 424 с.

18. Комиссаров А. М. Взрывчатые вещества / А.М. Комиссаров. – М. : Недра, 1984. – 184 с.

19. Закусило Р.В. Закономерности влияния состава и способа получения взрывчатой композиции и полимерного носителя на свойства детонирующего волновода: дис. ... кандидата технических наук / Роман Васильевич Закусило. – Шостка, 2010. – 124 с.

20. Неэлектрическая система инициирования "Импульс". Описание системы. – Шостка : Казенное предприятие "Шосткинський казенний завод "Импульс", 2008. – 28 с.

21. Беляев А.Ф. Переход горения конденсированных систем во взрыв / А.Ф. Беляев. – М. : Наука, 1973. – 286 с.

22. Кравец В.Г. Разработка методов инициирования смесевых взрывчатых веществ / В.Г. Кравец, А.Т. Воеводка, В.Ч. Хаджиева, А.А. Фролов / Промышленные взрывчатые вещества и средства их инициирования. Матер. 1-ой Украинской научн. конф. – Шостка Сумской обл. : ГосНИИХП, 1995. – Вып. 1. – С. 27-31.

23. Кравец В.Г. Ультразвуковая обработка гранулированной аммиачной селитры как средство стабилизации детонации промышленных зарядов / В.Г. Кравец, А. Воеводка, А.А. Фролов. Вісник НТУУ "КШ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. – К.: НТУУ "КПГ: ЗАТ "Техновибух". – 2001. – Вип. 5. – С. 49-51.

24. Физика взрыва / Под ред. Л.Н. Орленко [Изд. 3-е, перераб.] – В 2-х томах. – М. : Физматгиз, 2002. Т.1. – 832 с.

25. Кравец В.Г. Влияние геометрических и энергетических параметров инициатора на механизм развития детонации в удлиненном заряде / В.Г. Кравец, В.Л. Демешук // Вісник НТУУ

## Список літератури

---

---

"КПИ". Серія "Гірництво": 36. наук, праць. – К. : НТУУ "КПИ": ЗАТ "Техновибух", 2002. – Вип. 7. – С. 64-71.

26. Кравец В.Г. Обоснование параметров спирального инициатора при взрывании скважинных зарядов ВВ / В.Г. Кравец, В.Д. Воробьев, А.А. Фролов // НТУУ "КПИ". – К., 1996. – С. 27-34.

27. Воробьев В.Д. Определение радиуса зоны дробления при взрывах в массивах скальных пород / В.Д. Воробьев, В.Г. Кравец, А.И. Крючков, А.А. Фролов. – К. : НТУУ "КПИ", 1996. – 11 с.

28. Кравец В.Г. О величине перекрытия зон дробления при взрывах скважинных зарядов на уступе карьера / В.Г. Кравец, В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, А.А. Фролов. – К. : НТУУ "КПИ", 1996. – 12 с.

Наукове видання

**ЗАКУСИЛО Роман Васильович**  
**КРАВЕЦЬ Віктор Георгійович**  
**КОРОБІЙЧУК Валентин Вацлавович**

## **ЗАСОБИ ІНЦЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН**

Монографія

*Рецензенти: І.А. Лучко, П.З. Луговий, Л.Г. Полонський*

*Технічний редактор: В.В. Коробійчук*

*Макетування: О.А. Зубченко*

*Художник обкладинки: В.В. Коробійчук*

---

Підп. до друку 18.11.2011. Формат 60×84/16. Папір офс.

Гарнітура Times New Roman. Умовн. друк. арк. 12,3.

Наклад 300 пр. Зам. № 46.

---

Видавець і виготовлювач

Житомирський державний технологічний університет

вул. Черняхівського, 103, Житомир, 10005

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ЖТ № 08 від 26.03.2004 р.