

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 1</i>

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від 28 січня 2021 р.
№1

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для проведення практичних занять з навчальної дисципліни
«РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ТА БЕЗПЕКА ВИБУХОВИХ РОБІТ»

для здобувачів вищої освіти освітнього
ступеня «молодший бакалавр»
спеціальності 184 «Гірництво»
освітньо-професійна програма «Гірництво»
факультет гірничо-екологічний

кафедра розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т.

Рекомендовано на засіданні кафедри
родовищ корисних копалин ім. проф.
Бакка М.Т.

25 січня 2021 р., протокол № 1

Розробники: к.т.н., доц. Хоменчук О.В., ас. Піскун І.А.

Житомир
2021

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 2</i>

ЗМІСТ

Практична робота № 1. Розрахунок кисневого балансу однокомпонентних та сумішевих вибухових речовин.....	3
Практична робота №2. Розрахунок паспорту буро-вибухових робіт.....	17
Практична робота №3. Розрахунок параметрів електровибухових мереж...	34
Практична робота №4. Побудова схеми ініціювання неелектричної мережі	56
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	63
ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ	64

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 3

Практична робота №1. Розрахунок кисневого балансу однокомпонентних та сумішевих вибухових речовин

Мета роботи – визначення кисневого балансу однокомпонентних та сумішевих вибухових речовин.

Теоретичні відомості:

Найбільш оптимальним складом вибухових речовин є такий, при якому хімічні реакції вибуху протікають з утворенням водяної пари, вуглекислого газу та азоту, тобто газоподібних продуктів, найменш шкідливих для людського організму. Крім того, під час вибуху звільняється максимально можлива кількість енергії у вигляді тепла. Якщо ж у складі вибухової речовини (ВР) є надлишок або нестача кисню, утворюються відповідно отруйні окиси азоту чи моноокис вуглецю CO.

Небезпека окисів азоту (NO, NO₂, N₂O₃) для людського організму полягає у тому, що при потраплянні в легені вони утворюють азотну та азотисту кислоти, дія яких призводить до набряку легень і смерті. Крім того, утворення окисів азоту відбувається з поглинанням тепла, що призводить до зниження енергії вибуху.

За умови нестачі у складі ВР кисню під час вибуху утворюється чадний газ (CO), шкідлива дія якого полягає у здатності при потраплянні в організм людини утворювати міцні сполуки з червоними кров'яними тільцями і тим самим викликати так званий "кисневий голод", а при певному вмісті CO у крові (> 0,1 %) призводити до смерті.

Нестача кисню позначається й на ефективності вибуху, оскільки утворення чадного газу відбувається з меншим виділенням тепла (113,76 кДж/(г·моль)), ніж утворення двоокису вуглецю (395,65 кДж/(г·моль)).

Склад продуктів вибуху, що виникають у результаті хімічної реакції, залежить від багатьох факторів. Проте найважливішим з них є співвідношення у ВР

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 4

між горючими складовими (водень, вуглець, а також алюміній, який часто входить до складу ВР) і киснем.

Кисневий баланс (КБ) характеризується відношенням надлишку або нестачі кисню в складі ВР до його кількості, яка необхідна для повного окиснення горючих складових, що містяться у даній ВР. Відповідно до цього кисневий баланс може бути нульовим, додатнім і від'ємним.

При нульовому кисневому балансі вміст кисню у вибуховій речовині достатній для повного окиснення горючих складових, і процес відбувається з переважним утворенням H_2O , CO_2 , N_2 .

При додатному кисневому балансі має місце надлишок кисню. При цьому крім названих газів у великій кількості виділяються NO та NO_2 .

При від'ємному кисневому балансі в умовах нестачі кисню склад продуктів вибуху досить складний, проте головною його відмінністю є утворення чадного газу (CO).

При проведенні вибухових робіт у підземних умовах дозволяється використання ВР лише з нульовим або невеликим додатним кисневим балансом (для окислення оболонок патронування ВР). На відкритих гірничих роботах дозволяється використання ВР з кисневим балансом, відмінним від нульового, але зі зростанням глибини розробок доцільність використання ВР з нульовим кисневим балансом зростає.

Завдання:

Розрахувати кисневий баланс однокомпонентних (таблиця 1.2) та сумішевих вибухових речовин (таблиця 1.3), на основі результатів розрахунків встановити приналежність вибухових речовин до того чи іншого класу за значенням кисневого балансу (нульовий, позитивний, негативний). Вибір варіантів виконується у відповідності до таблиці 1.1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 5

Вихідні дані:

Таблиця 1.1

Варіанти завдань

Варіант (за списком)	Номери ВР		
1	5	8	17
2	8	25	22
3	24	7	3
4	5	1	8
5	21	3	2
6	19	22	2
7	9	18	20
8	24	4	13
9	24	21	2
10	18	24	11
11	15	14	12
12	8	25	7
13	3	21	19
14	8	3	21
15	20	14	3
16	5	16	5
17	7	10	6
18	8	4	22
19	11	3	8
20	13	23	14
21	5	13	17
22	24	5	2
23	4	11	20
24	17	4	4
25	10	7	15

Таблиця 1.2

Вихідні дані для розрахунку кисневого балансу однокомпонентних ВР

№ ВР	Назва ВР	Хімічна формула ВР
1	Аміачна селітра	$H_4N_2O_3$
2	Дуніт (пікрит амонію)	$C_6H_6N_4O_7$
3	Циклоніт	$C_3H_6N_6O_6$
4	Етилендіамін динітрат	$C_2H_{10}N_4O_6$
5	Гуанідин нітрат	$CH_6N_4O_3$
6	Гексаметилентрипероксиддіамін	$C_6H_{12}N_2O_6$
7	Гексанітрогексаазаізоурцітан	$C_6H_6N_{12}O_{12}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 6

Продовження таблиці 1.2

№ ВР	Назва ВР	Хімічна формула ВР
8	Нітрат гідразину	$H_5N_3O_3$
9	Манітол гексанітрат	$C_6H_8N_6O_{18}$
10	Монометиламін селітра	$CH_4N_2O_3$
11	Нітроцелюлоза	$C_6H_7N_3O_{11}$
12	Нітрогліцерин	$C_3H_5N_3O_9$
13	Нітротріазолон	$C_2H_2N_4O_3$
14	Октоген	$C_4H_8N_8O_8$
15	Пентаеритрит тетранітрат	$C_5H_8N_4O_{12}$
16	Пікринова кислота	$C_6H_3N_3O_7$
17	Тетразен	$C_2H_8N_{10}O$
18	Тетрил	$C_7H_5N_5O_8$
19	Тринітробензол	$C_6H_3N_3O_6$
20	Тринітротолуол	$C_7H_5N_3O_6$
21	Триаміногуанідин нітрат	$CH_9N_7O_3$
22	Триаміотринітробензол	$C_6H_6N_6O_6$
23	Тринітропіридин	$C_5H_2N_4O_6$
24	Карбомід	$CH_5N_3O_4$
25	Перхлорат амонію	H_4NO_4Cl

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 7

Таблиця 1.3

Вихідні дані для розрахунку кисневого балансу сумішевих ВР

№ ВР	Назва ВР	Компонент №1			Компонент №2			Компонент №3			Компонент №4		
		Назва	Формула	Вміст%	Назва	Формула	Вміст%	Назва	Формула	Вміст%	Назва	Формула	Вміст%
1	Грануліт АС-4	Аміачна селітра	NH_4NO_3	92	Алюмінієвий порошок	Al	4	Солярове мастило	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	4			
2	Грануліт АС-8	Аміачна селітра	NH_4NO_3	89	Алюмінієвий порошок	Al	8	Солярове мастило	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	4			
3	Іфзаніт Т-80	Аміачна селітра	NH_4NO_3	74	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	20	Вода	H_2O	6			
4	ГЛТ-20	Аміачна селітра	NH_4NO_3	70	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	24	Хромпик	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	1	Гуаргам	$\text{C}_{35}\text{H}_{49}\text{O}_{29}$	5
5	ГЛА-20	Аміачна селітра	NH_4NO_3	58	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	35	Хромпик	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	1	Гуаргам	$\text{C}_{35}\text{H}_{49}\text{O}_{29}$	6
6	15Т	Аміачна селітра	NH_4NO_3	67	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	15	Карбамід	$\text{CH}_5\text{N}_3\text{O}_4$	13	Алюмінієвий порошок	Al	5
7	Карбатол ГЛ-10В	Аміачна селітра	NH_4NO_3	65	Алюмінієвий порошок	Al	15	Гранулотол	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	12	Карбамід	$\text{CH}_5\text{N}_3\text{O}_4$	8
8	Карбатол АТ5	Аміачна селітра	NH_4NO_3	62	Алюмінієвий порошок	Al	20	Карбамід	$\text{CH}_5\text{N}_3\text{O}_4$	13	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	5
9	Карбатол ТМ	Аміачна селітра	NH_4NO_3	57	Алюмінієвий порошок	Al	20	Карбамід	$\text{CH}_5\text{N}_3\text{O}_4$	13	Поліакриламід	$\text{CH}_2\text{CH}(\text{CONH}_2)$	10
10	Амоніт 6ЖВ	Аміачна селітра	NH_4NO_3	79	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	21						
11	Амоніт 7ЖВ	Аміачна селітра	NH_4NO_3	79	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	13	Борошно з деревини	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$	8			
12	Амоніт 10ЖВ	Аміачна селітра	NH_4NO_3	85	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	7	Борошно з деревини	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$	8			
13	Амоніт АП-4ЖВ	Аміачна селітра	NH_4NO_3	70	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	20	Хлористий натрій	NaCl	10			
14	Амоніт АП-5ЖВ	Аміачна селітра	NH_4NO_3	70	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	18	Хлористий натрій	NaCl	12			
15	Амоніт Т-19	Аміачна селітра	NH_4NO_3	61	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	19	Хлористий натрій	NaCl	20			

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 8

Продовження таблиці 1.3

№ ВР	Назва ВР	Компонент №1			Компонент №2			Компонент №3			Компонент №4		
		Назва	Формула	Вміст %	Назва	Формула	Вміст %	Назва	Формула	Вміст %	Назва	Формула	Вміст %
16	Амонал скельний №1	Аміачна селітра	NH_4NO_3	66	Гексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$	24	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	5	Алюмінієвий порошок	Al	5
17	Амоніт скельний №2	Аміачна селітра	NH_4NO_3	72	Гексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$	15	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	5	Алюмінієвий порошок	Al	8
18	Амоніт БВ-48	Аміачна селітра	NH_4NO_3	50	Нітрат магнію	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	34	Борошно з деревини	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$	16			
19	Амонал скельний №3	Аміачна селітра	NH_4NO_3	72	Гексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$	14	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	6	Алюмінієвий порошок	Al	8
20	Динафталін	Аміачна селітра	NH_4NO_3	88	Динітронафталін	$\text{C}_{10}\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_4$	11	Парафін	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	1			
21	Победіт	Аміачна селітра	NH_4NO_3	70	Хлористий натрій	NaCl	12	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	12	Борошно з деревини	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$	6
22	Амоніт ПЖВ-20	Аміачна селітра	NH_4NO_3	64	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	16	Хлористий натрій	NaCl	20			
23	Грамонал А-8	Аміачна селітра	NH_4NO_3	80	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	12	Алюмінієвий порошок	Al	8			
24	Аваніт 2	Аміачна селітра	NH_4NO_3	48	Гексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$	35	Тротил	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	10	Нітрат кальцію	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	7
25	Аваніт АР3-8	Аміачна селітра	NH_4NO_3	70	Нітрат кальцію	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15	Алюмінієвий порошок	Al	10	Парафін	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	5

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 9

Порядок виконання завдання:

1.1. Розрахунок кисневого балансу однокомпонентної ВР

Розрахунок кисневого балансу однокомпонентної ВР буде представлено на прикладі ТЕНу, який має хімічну формулу $(C_5H_8(ONO_2)_4)$.

Виконання завдання рекомендується розпочати зі знаходження молярної маси вибухової речовини (1.1):

$$M_{(C_5H_8(ONO_2)_4)} = 12 \cdot 5 + 1 \cdot 8 + (16 + 14 + 16 \cdot 2) \cdot 4 = 316, \text{ г/моль} \quad (1.1)$$

Наступним кроком є знаходження необхідного числа атомів кисню для повного окиснення атомів вуглецю у вуглекислоту й атомів водню у воду(1.2):

$$K_H = 2C_n + 0,5H_m \quad (1.2)$$

$$K_{H(C_5H_8(ONO_2)_4)} = 2 \cdot 5 + 0,5 \cdot 8 = 14$$

де: C_n – кількість атомів вуглецю у складі ВР;

H_m – кількість атомів водню у складі ВР (2 та 0,5 кількість атомів оксиду необхідних для окиснення CO_2 та водню відповідно).

Після знаходження необхідного числа атомів кисню, потрібно розрахувати наявну кількість атомів кисню (1.3):

$$K_B = \Sigma O \quad (1.3)$$

$$K_{B(C_5H_8(ONO_2)_4)} = (1 + 1 \cdot 2) \cdot 4 = 12$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 10

де: O – кількість атомів кисню.

На основі отриманих значень знаходимо грам-атомну вагу надлишку чи нестачі кисню в складі ВР (1.4):

$$A_{\Gamma} = 16(K_{\text{в}} - K_{\text{н}}) \quad (1.4)$$

$$A_{\Gamma(C_5H_8(ONO_2)_4)} = 16(12 - 14) = -32$$

де: 16 – грам-атомна вага кисню;

$K_{\text{в}}$ – число атомів кисню що знаходяться в складі ВР (1.3);

$K_{\text{н}}$ – необхідне число атомів кисню для повного окиснення атомів вуглецю у вуглекислоту й атомів водню у воду (1.2).

Значення кисневого балансу однокомпонентної вибухової речовини може бути розраховано як:

$$K_{\text{б}} = \frac{100A_{\Gamma}}{M}, \% \quad (1.5)$$

$$K_{\text{б}(C_5H_8(ONO_2)_4)} = \frac{100 \cdot (-32)}{316} = -10,12 \%$$

де: A_{Γ} – грам-атомна вага надлишку чи нестачі кисню в складі ВР за формулою (1.4);

M – грам-молекулярна вага даної ВР (знаходиться як сумарна молярна маса складових хімічних елементів) за формулою (1.1).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 11

1.2. Розрахунок кисневого балансу сумішевих ВР

Розрахунок кисневого балансу сумішевої ВР буде представлено на прикладі Амоніту 9ЖВ, який складається з 83% аміачної селітри (NH_4NO_3), 6% деревного борошна ($\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$) та 11% тротилу ($\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_3)_2$).

Знаходження кисневого балансу сумішевої ВР розпочинається зі знаходження молярної маси кожного з компонентів ВР (1.6):

$$M_{(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = 14 + 1 \cdot 4 + 14 + 16 \cdot 3 = 80, \text{ г/моль}$$

$$M_{(\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10})} = 12 \cdot 15 + 1 \cdot 22 + 16 \cdot 10 = 362, \text{ г/моль} \quad (1.6)$$

$$M_{(\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_3)_2)} = 12 \cdot 7 + 1 \cdot 5 + (14 + 16 \cdot 3) \cdot 2 = 213, \text{ г/моль}$$

Наступним кроком є знаходження необхідного числа атомів кисню для повного окиснення атомів вуглецю у вуглекислоту й атомів водню у воду у кожному зі складових компонентів ВР (1.7):

$$K_{\text{H}} = 2C_n + 0,5H_m$$

$$K_{\text{H}(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = 2 \cdot 0 + 0,5 \cdot 4 = 2 \quad (1.7)$$

$$K_{\text{H}(\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10})} = 2 \cdot 15 + 0,5 \cdot 22 = 41$$

$$K_{\text{H}(\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_3)_2)} = 2 \cdot 7 + 0,5 \cdot 5 = 16,5$$

де: C_n – кількість атомів вуглецю у складі ВР;

H_m – кількість атомів водню у складі ВР;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 12

2 та 0,5 кількість атомів кисню необхідних для окиснення CO_2 та водню відповідно.

Після знаходження необхідного числа атомів кисню для повного окиснення атомів вуглецю у вуглекислоту й атомів водню у воду, потрібно розрахувати наявну кількість атомів кисню (1.8):

$$K_B = \Sigma O$$

$$K_{B(NH_4NO_3)} = 1 \cdot 3 = 3 \tag{1.8}$$

$$K_{B(C_{15}H_{22}O_{10})} = 1 \cdot 10 = 10$$

$$K_{B(C_7H_5(NO_3)_2)} = (1 \cdot 3) \cdot 2 = 6$$

де: O – кількість атомів кисню.

На основі отриманих значень знаходимо грам-атомну вагу надлишку чи нестачі кисню в складі кожного з компонентів ВР (1.9):

$$A_\Gamma = 16(K_B - K_H)$$

$$A_{\Gamma(NH_4NO_3)} = 16(3 - 2) = +16 \tag{1.9}$$

$$A_{\Gamma(C_{15}H_{22}O_{10})} = 16(10 - 41) = -496$$

$$A_{\Gamma(C_7H_5(NO_3)_2)} = 16(6 - 16,5) = -168$$

де: 16 – грам-атомна вага кисню;

K_B – число атомів кисню що знаходяться в складі ВР (1.8);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 13

K_H – необхідне число атомів кисню для повного окиснення атомів вуглецю у вуглекислоту й атомів водню у воду (1.7).

Значення кисневого балансу кожного зі складових компонентів вибухової речовини може бути розраховано як (1.10):

$$K_{\text{б}} = \frac{100A_{\Gamma}}{M}, \%$$

$$K_{\text{б}(NH_4NO_3)} = \frac{100 \cdot (+16)}{80} = +20,0 \%$$

(1.10)

$$K_{\text{б}(C_{15}H_{22}O_{10})} = \frac{100 \cdot (-496)}{362} = -137,1 \%$$

$$K_{\text{б}(C_7H_5(NO_3)_2)} = \frac{100 \cdot (-168)}{213} = -78,8 \%$$

де: A_{Γ} – грам-атомна вага надлишку чи нестачі кисню в складі ВР (1.9);

M – грам-молекулярна вага даної ВР (знаходиться як сумарна молярна маса складових хімічних елементів) (1.6).

Для знаходження кисневого балансу сумішевої ВР необхідно врахувати значення кисневого балансу кожного зі складових компонентів та відсотковий вміст даного компоненту у складі суміші (1.11):

$$K_{\text{б}} = \sum_{i=1}^m K_{\text{б}_i} P_i$$

(1.11)

$$K_{\text{б}} = 20 \cdot 0,83 + (-137,1) \cdot 0,06 + (-78,8) \cdot 0,11 = -0,294$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 14

де: K_{B_i} – кисневий баланс кожного з складових елементів ВР (1.10);

P_i – вміст кожного з складових елементів ВР у долях одиниці.

1.3. Розрахунок кисневого балансу сумішевих ВР, які містять алюміній

Розрахунок кисневого балансу сумішевої ВР буде представлено на прикладі амоналу, який складається з 80 % аміачної селітри (NH_4NO_3) з молярною масою 80 г/моль, 15 % тротилу ($\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$) з молярною масою 227 г/моль і 5 % алюмінієвої пудри (Al) з молярною масою 27 г/моль.

Позначив кількість молів тротилу x , аміачної селітри y , алюмінієвої пудри z , можна написати хімічну формулу у вигляді



У відповідності до вагового складу можна записати наступне співвідношення

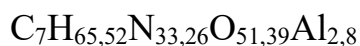
$$\frac{y \cdot 80}{x \cdot 227} = \frac{80}{15}; \quad \frac{z \cdot 27}{x \cdot 227} = \frac{5}{15}.$$

Звідки $y = 15,13x$; $z = 2,8x$.

При $x=1$ хімічна формула вибухової речовини прийме вигляд



або



Молярна маса вибухової речовини знаходиться як множення кількості атомів кожного компонента на його атомну масу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 15

$$M=7\cdot 12+65,52\cdot 1+33,26\cdot 14+51,39\cdot 16+2,8\cdot 27=1513 \text{ г/моль.}$$

Грам-атомна вага надлишку чи нестачі кисню у складі ВР знаходиться за формулою:

$$A_{\Gamma} = d - \left(2a + \frac{b}{2} + \frac{3e}{2} \right), \quad (1.12)$$

де a, b, d, e – відповідно кількість атомів вуглецю, водню, кисню і алюмінію у складі ВР, моль.

Грам-атомна вага надлишку чи нестачі кисню у складі амоналу дорівнює

$$A_{\Gamma} = d - \left(2a + \frac{b}{2} + \frac{3e}{2} \right) = 51,39 - \left(2\cdot 7 + \frac{65,52}{2} + \frac{3\cdot 2,8}{2} \right) = 0,43 \text{ г.}$$

Кисневий баланс амоналу

$$K_{\delta} = \frac{100A_{\Gamma}}{M} = \frac{100 \cdot 0,43}{1513} = 0,03 \text{ \%}.$$

Кисневий баланс позитивний.

1.4. Розрахунок кисневого балансу запобіжних сумішевих ВР, які містять солі

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 16

У загальному вигляді:

$$K_H = 0,5 \sum_{i=1}^m n_i k_i b_i, \quad (1.13)$$

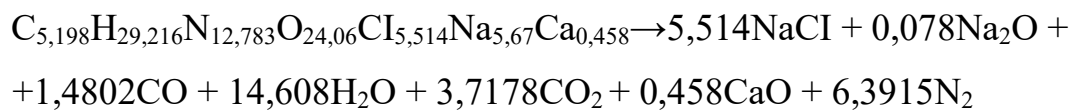
де $0,5$ – величина, зворотня валентності кисня;

n_i – кількість атомів і-елемента у складі ВР;

k_i – валентність і-елемента;

b_i – безрозмірний коефіцієнт, який приймають «+1» для хімічних елементів, що вступають у процес вибухового розкладу в реакцію з киснем; «0» – для хімічних елементів, які не вступають під час вибуху в реакцію з киснем, наприклад, для кисню, азоту та ін; «-1» – для хімічних елементів, які вступають в реакцію з елементами першої із перелічених груп, тобто для яких $b=1$, наприклад, для хлору.

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



Рішення.

$$K_O = 24,06;$$

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

$$M = 5,198 \cdot 12 + 29,216 \cdot 1 + 12,783 \cdot 14 + 24,06 \cdot 16 + 5,514 \cdot 35,45 + 5,67 \cdot 22,99 + \\ + 0,458 \cdot 40,08 = 684,99 \text{ кг/кмоль};$$

$$K_O = \frac{100A_O}{M} = \frac{100 \cdot 16 \cdot (K_O - K_H)}{M} = \frac{100 \cdot 16 \cdot (24,06 - 25,54)}{684,99} = -3,457 \%$$

Кисневий баланс негативний.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 17

Практична робота №2. Розрахунок паспорту буро-вибухових робіт

Мета роботи – розрахунок параметрів паспорту буро-вибухових робіт.

Теоретичні відомості:

Метод свердловинних зарядів застосовується на кар'єрних при висадженні уступів висотою більше 5-7 м. Найбільш доцільним застосування даного методу є для уступів висотою від 10 до 20 м, але мають бути також враховані характеристики засобів механізації.

На уступі що підлягає висадженню, бурять похилі або вертикальні (в переважній кількості випадків) свердловини для розміщення зарядів ВР. Діаметр свердловин переважною мірою залежить від характеристики породи і може коливатись в межах від 75 до 320 мм (у слабких породах – до 150 мм, у більш міцних – 200 мм і більше). Свердловини можуть розташовуватись в один чи декілька рядів паралельно до фронту вибою (рис. 2.1).

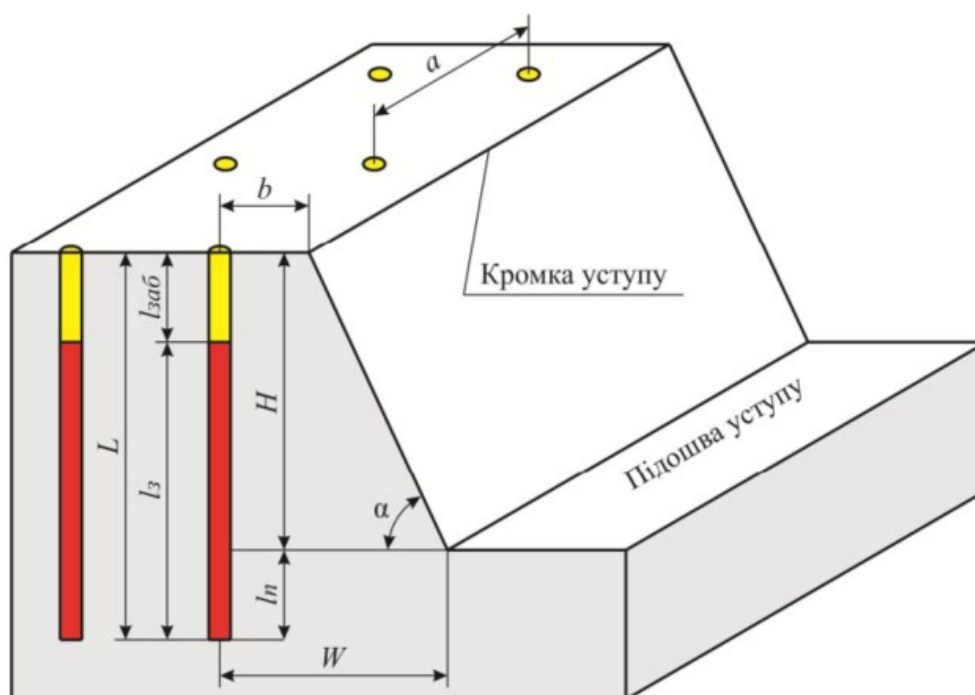


Рис.2.1. Схема розташування свердловин на уступі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 18

У залежності від висоти уступу і міцності породи кут укосу уступу зазвичай становить $60 - 90^\circ$, унаслідок чого опір масиву вибуху в нижній частині вертикально пробуреної свердловини, як правило, більше ніж у верхній. Відстань яка характеризує опір масиву вибуху називають лінією опору по підшві, вона являє собою відстань від нижньої бровки уступу до центру свердловини (рис.2.1).

Для гарного подрібнення у зоні підшви уступу і попередження утворення порогів, свердловини бурять глибше рівня підшви вибою. Частина свердловини, що знаходиться нижче підшви уступу, зветься перебуром. Довжина перебуру залежить від міцності породи і величини лінії опору по підшві, оскільки часто приймається рівною $0,1 \dots 0,2$ її величини. Іноді, з метою зменшення значення величини перебуру, нижню частину свердловини заповнюють більш потужною ВР. Також, для більш рівномірного подрібнення породи часто заряди роблять розосередженими.

Завдання:

На основі вихідних даних (таблиця 2.1) розрахувати параметри паспорту буро-вибухових робіт, необхідну кількість ВР та об'єми отриманої в ході підривання гірничої маси. За результатами розрахунків побудувати паспорт буро-вибухових робіт.

Приклад розрахунків буде показано на основі наступних вихідних даних: порода – граніт; об'ємна вага – $2,8 \text{ т/м}^3$; коефіцієнт міцності за Протодяконовим – 10; висота уступу – 7 м; кут відкосу уступу – 65° ; тип вибухової речовини – ігданіт; спосіб підривання – миттєве; схема розташування свердловин – квадратна; значення добової продуктивності – $700 \text{ м}^3/\text{добу}$; тип транспорту – автомобільний.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 19

Вихідні дані:

Таблиця 2.1

Дані для виконання роботи

Варіант	Порода	Об'ємна вага, т/м ³	Коефіцієнт міцності за Прогодьяконовим	Висота уступу, м	Кут відкосу уступу, °	Тип вибухової речовини	Спосіб підривання	Розташування свердловин	Добова продуктивність, м ³ /добу	Тип транспорту
1	Граніт	2,9	12	10	65	Грануліт АС-4	Миттєве	Квадратне	950	Автомобільний
2	Кам'яне вугілля	1,9	2	6	55	Ігданіт	Короткосповільнене	Шахове	920	Залізничний
3	Доломіт	2,6	6	11	60	Грануліт С-2	Короткосповільнене	Квадратне	520	Залізничний
4	Кам'яне вугілля	1,7	2	5	45	Амоніт АП-5ЖВ	Миттєве	Шахове	370	Автомобільний
5	Вапняк	2,1	8	12	50	Інфазіт Т-80	Миттєве	Квадратне	520	Автомобільний
6	Граніт	2,7	10	6	65	Інфазіт Т-60	Короткосповільнене	Шахове	415	Залізничний
7	Кварцит	2,5	20	14	65	Інфазіт Т-40	Короткосповільнене	Квадратне	520	Залізничний
8	Антрацит	1,8	2,5	10	45	Амоніт АП-5ЖВ	Миттєве	Шахове	280	Автомобільний
9	Граніт	2,9	15	8	65	Гарбатол ТМ	Миттєве	Квадратне	260	Автомобільний
10	Кам'яне вугілля	1,9	2	8	55	Ігданіт	Короткосповільнене	Шахове	1190	Залізничний
11	Доломіт	2,4	5	9	60	Ігданіт А-6	Короткосповільнене	Квадратне	1050	Залізничний
12	Кам'яне вугілля	1,7	2	5	55	Амоніт 6-ЖВ	Миттєве	Шахове	260	Автомобільний
13	Вапняк	1,9	6	16	45	Амонал скельний №3	Миттєве	Квадратне	805	Автомобільний
14	Граніт	2,9	10	10	65	Амоніт 9-ЖВ	Короткосповільнене	Шахове	450	Залізничний

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 20

Продовження таблиці 2.1

Варіант	Порода	Об'ємна вага, т/м ³	Коефіцієнт міцності за Прогодьяконовим	Висота уступу, м	Кут відкосу уступу, °	Тип вибухової речовини	Спосіб підживлення	Розташування свердловин	Добова продуктивність, м ³ /добу	Тип транспорту
15	Кварцит	2,5	20	10	65	Амонал скельний №3	Короткосповільнене	Квадратне	515	Залізничний
16	Антрацит	1,8	2,5	7	45	Амоніт АП-5ЖВ	Митсьве	Шахове	955	Автомобільний
17	Граніт	3,2	12	5	65	Амоніт АТ-1	Митсьве	Квадратне	620	Автомобільний
18	Кам'яне вугілля	1,9	2	9	55	Амоніт АТ-2	Короткосповільнене	Шахове	365	Залізничний
19	Доломіт	2,6	5	7	60	Амоніт скельний №1	Короткосповільнене	Квадратне	1120	Залізничний
20	Кам'яне вугілля	1,7	2	8	45	Амоніт АП-5ЖВ	Митсьве	Шахове	430	Автомобільний
21	Вапняк	2,1	8	8	50	Гранітол-1	Митсьве	Квадратне	850	Автомобільний
22	Граніт	2,9	10	12	65	Гранітол 7А	Короткосповільнене	Шахове	905	Залізничний
23	Кварцит	2,5	20	9	65	Амонал	Короткосповільнене	Квадратне	355	Залізничний
24	Антрацит	1,8	2,5	5	45	Динафталіт	Митсьве	Шахове	995	Автомобільний
25	Граніт	2,9	10	13	65	Детоніт 10А	Короткосповільнене	Квадратне	760	Залізничний

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 21

Порядок виконання завдання:

2.1. Розрахунок лінійних параметрів свердловин

Одним з ключових параметрів свердловини є її діаметр. Необхідний діаметр свердловини головним чином залежить від параметрів розроблюваного уступу, а саме його висоти, кута відкосу уступу та фізико-технічних параметрів порід, які власне і складають цей уступ. Формула для розрахунку діаметра свердловини (2.1) має наступний вигляд:

$$d_{\text{св}} = \frac{H_y \text{ctg} \alpha_{\text{роб}} + C}{16,5(3,2 - m)k_m} \sqrt{\rho k_{\text{вр}} / \Delta}, \text{ м} \quad (2.1)$$

$$d_{\text{св}} = \frac{7 \cdot \text{ctg} 65^\circ + 3}{16,5 \cdot (3,2 - 0,9) \cdot 1,1} \sqrt{2,8 \cdot 1,11 / 0,9} = 0,28, \text{ м}$$

де: H_y – висота уступу, приймається у відповідності до вихідних даних (м);

$\alpha_{\text{роб}}$ – кут відкосу робочого уступу, приймається у відповідності до вихідних даних (°);

C – берма безпеки ($C \geq 3$ м);

m – коефіцієнт зближення свердловин (для вертикальних свердловин $m=0,8 \div 1,2$);

k_m – коефіцієнт, що враховує тріщинуватість масиву (для порід III категорії тріщинуватості $k_m = 0,9$, для порід IV категорії тріщинуватості $k_m = 1,1$);

ρ – об'ємна вага породи, приймається у відповідності до вихідних даних (т/м³);

$k_{\text{вр}}$ – перевідний коефіцієнт, що враховує відносну потужність ВР, приймається у відповідності до таблиці 2.2;

Δ – щільність заряджання ВР, приймається у відповідності до таблиці 2.2.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 22

Таблиця 2.2

Значення густини заряджання та відносної потужності ВР

№ з/п	Найменування ВР	Густина заряджання Δ	Відносна потужність ВР ($k_{вр}$)
1	Грануліт АС-4	0,85-0,90	1,08-1,11
2	Грануліт АС-8	1,10-1,25	1,20-1,25
3	Грануліт С-2	0,90-1,10	1,20-1,25
4	Грануліт М	0,95-1,15	0,92-1,04
5	Інфазіт Т-80	1,45-1,50	1,06-1,10
6	Інфазіт Т-60	1,40-1,45	1,05-1,12
7	Інфазіт Т-40	1,40-1,46	1,00-1,05
8	Інфазіт Т-20	1,31-1,36	1,15-1,25
9	Гарбатол ТМ	1,25-1,50	1,38-1,52
10	Ігданіт	0,80-0,90	1,11-1,15
11	Ігданіт А-6	0,90-0,95	1,08-1,10
12	Амоніт 6-ЖВ	0,80-0,85	1,08-1,10
13	Амоніт 7-ЖВ	0,78-0,83	1,00-1,05
14	Амоніт 9-ЖВ	0,72-0,78	1,04-1,10
15	Амоніт АП-4ЖВ	1,00-1,15	0,78-0,90
16	Амоніт АП-5ЖВ	1,05-1,20	0,75-0,85
17	Амоніт АТ-1	0,85-0,90	0,90-1,00
18	Амоніт АТ-2	0,85-0,90	0,90-1,00
19	Амоніт скельний №1	0,95-1,10	1,05-1,10
20	Амонал скельний №3	0,85-0,95	1,08-1,12
21	Гранітол-1	0,90-0,95	0,98-1,06
22	Гранітол 7А	0,85-0,95	1,05-1,10
23	Амонал	0,95-1,15	1,12-1,18
24	Динафталіт	1,0-1,15	0,92-0,97
25	Детоніт 10А	1,10-1,13	1,10-1,12

Оскільки при бурінні свердловин їх діаметр завжди буде більшим заданого, що пояснюється нерівністю їх стінок та наявністю зазору між буровим інструментом та стінками свердловини, в разі використання порошкових чи емульсійних непатронованих ВР, діаметр заряду приймається більшим діаметра свердловини на величину розбурення (2.2):

$$d_3 = 1,05 \div 1,08 d_{св}, м \quad (2.2)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 23

$$d_3 = 1,08 \cdot 0,28 = 0,3, \text{ м}$$

Місткість одного метра свердловини, це величина, яка показує кількість ВР, яка міститься в 1 метрі погонному свердловини, при заданій щільності заряджання вибухової речовини (2.3):

$$P_{\text{св}} = \frac{\pi d_3^2}{4} \Delta, \text{ кг/м. п} \quad (2.3)$$

$$P_{\text{св}} = \left(\frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \right) \cdot 900 = 64,61, \text{ кг/м. п}$$

де: π – математична стала, що визначається як відношення довжини кола l до його діаметра d ;

d_3 – діаметр заряду ВР (м);

Δ - щільність заряджання (кг/м³).

Лінією опору по підшві вважають відстань по горизонталі від осі заряду свердловини до відкритої поверхні на рівні підшви уступу. Для знаходження розрахункового значення лінії опору по підшві використовують наступну формулу (2.4):

$$W_p = 0,9 \sqrt{\frac{P_{\text{св}}}{q_p}}, \text{ м} \quad (2.4)$$

$$W_p = \sqrt{\frac{64,61}{0,56}} = 9,71, \text{ м}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 24

де: $P_{св}$ – місткість 1 м/п свердловини (2.3);

q_p – питома витрата ВР (2.6);

За спрощеною методикою, значення лінії опору по підшві може бути пораховане як (2.5):

$$W_p = (0,5 \div 0,9)H \quad (2.5)$$

$$W_p = 0,9 \cdot 7 = 6,30, \text{ м}$$

Приймаємо значення лінії опору по підшві рівне 6,30 м.

Питома витрата вибухової речовини (2.6):

$$q_p = q^{\text{етал}} k_{вр}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.6)$$

$$q_p = 0,5 \cdot 1,11 = 0,56, \text{ кг/м}^3$$

де: $q^{\text{етал}}$ – еталонна витрата ВР, приймається у відповідності до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Розрахункова питома витрата ВР

Найменування породи	Група ґрунтів і порід за класифікацією СНіП	Коефіцієнт міцності f за шкалою М.М. Протодяконова	Розрахункова питома витрата ВР, кг/м ³	
			для зарядів розпушення	для зарядів викиду
Пісок	I	–	–	1,6–1,8
Пісок щільний або вологий	I–II	–	–	1,2–1,3
Суглинок важкий	II	–	0,35–0,4	1,2–1,5
Глина тяглова	III	–	0,35–0,45	1,0–1,4
Лес	III–IV	–	0,3–0,4	0,9–1,2
Крейда, вилужений мергель	IV–V	0,8–1,0	0,25–0,3	0,9–1,2
Гіпс	IV	1,0–1,5	0,35–0,45	1,1–1,5

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 25

Вапняк-черепашник	V–VI	1,5–2,0	0,35–0,6	1,4–1,8
Опока, мергель	IV–VI	1,0–1,5	0,3–0,4	1,0–1,3
Туфи тріщинуваті, щільні, важка пемза	V	1,5–2,0	0,35–0,5	1,2–1,5
Конгломерат, брекчії на вапняному і глинистому цементі	IV–VI	2,3–3,0	0,35–0,45	1,1–1,4
Пісковик на глинистому цементі, сланець глинистий, слюдяний, мергель	VI–VII	3,0–6,0	0,4–0,5	1,2–1,6
Доламіт, вапняк, магнезит, пісковик на вапняному цементі	VII–VIII	5,0–6,0	0,4–0,5	1,2–1,8
Вапняк, пісковик, мрамур	VII–IX	6,0–8,0	0,45–0,7	1,2–2,1
Граніт, гранодіорит	VII–X	6–12	0,5–0,7	1,7–2,1
Базальт, діабаз, андезит, габро	IX–XI	6–18	0,6–0,75	1,7–2,2
Кварцит	X	12–14	0,5–0,6	1,6–1,9
Порфірит	X	16–20	0,7–0,75	2,0–2,2

Для забезпечення безпечних умов ведення вибухових робіт, на ряду з розрахунковим, знаходять і безпечне значення лінії опору по підшві, для цього використовують формулу (2.7):

$$W_6 = H_y \cdot ctg \alpha_{\text{роб}} + C, \text{ м} \quad (2.7)$$

$$W_6 = 7 \cdot ctg 65^\circ + 3 = 6,26, \text{ м}$$

При цьому, має зберігатись умова:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 26

$$W_p \geq W_6$$

$$6,30 \geq 6,26$$

Умова виконується, отже розрахунок виконано правильно.

З метою отримання рівної підшви уступу, при проектуванні свердловин, в довжину свердловини закладають значення перебуру (2.8):

$$L_{\text{пер}} = (10 \div 15)d_3, \text{ м} \quad (2.8)$$

$$L_{\text{пер}} = 15 \cdot 0,3 = 4,54, \text{ м}$$

Довжину стовпчика набивки, можна знайти за допомогою наступного співвідношення (2.9):

$$L_{\text{наб}} = (25 \div 30)d_3, \text{ м} \quad (2.9)$$

$$L_{\text{наб}} = 25 \cdot 0,3 = 7,56, \text{ м}$$

Глибина свердловини в такому випадку становитиме суму висоти уступу та довжини перебуру (2.10):

$$L_{\text{св}} = H_y + L_{\text{пер}}, \text{ м} \quad (2.10)$$

$$L_{\text{св}} = 7 + 4,54 = 11,54, \text{ м}$$

Довжина стовпчика заряду ВР знаходитиметься як різниця глибини свердловини та висоти стовпчика набивки (2.11):

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 27

$$L_{\text{зар}} = L_{\text{св}} - L_{\text{наб}}, \text{ м} \quad (2.11)$$

$$L_{\text{зар}} = 11,54 - 7,56 = 3,98, \text{ м}$$

2.2. Розрахунок параметрів сітки свердловин

Відстань між свердловинами в ряду залежить від способу підривання і знаходиться за формулами (2.12) та (2.13):

- при миттєвому підриванні:

$$a = (0,8 \div 1)W_p, \text{ м} \quad (2.12)$$

$$a = 0,8 \cdot 6,30 = 5,04, \text{ м}$$

- при короткосповільненому підриванні:

$$a = (1 \div 1,4)W_p, \text{ м} \quad (2.13)$$

Для знаходження відстані між рядами зарядів використовують формули (2.14) та (2.15):

- при миттєвому підриванні:

$$b = 0,85W_p, \text{ м} \quad (2.14)$$

$$b = 0,85 \cdot 6,30 = 5,36, \text{ м}$$

- при короткосповільненому підриванні:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 28

$$b = W_p, \text{ м} \quad (2.15)$$

2.3. Розрахунок необхідної кількості ВР

Значення необхідної кількості ВР, яку потрібно розмістити в одній свердловині для ефективного розпушення товщі гірської породи знаходиться за формулою (2.16):

$$Q = a N_y W_p q_p, \text{ кг} \quad (2.16)$$

$$Q = 5,36 \cdot 7 \cdot 6,30 \cdot 0,56 = 123,36, \text{ кг}$$

Максимально можлива кількість заряду, яка може бути розміщена у свердловині знаходиться за формулою (2.17):

$$Q^{CB} = P_{CB} L_{зар} \quad (2.17)$$

$$Q^{CB} = 64,61 \cdot 3,98 = 256,88, \text{ кг}$$

При цьому, має виконуватись умова: $Q^{CB} \geq Q$. У випадку, якщо умова не виконується, необхідно збільшити діаметр свердловини та провести перерахунок всіх даних. Якщо умова виконується, то проводять розрахунок величини розосередження заряду (2.18):

$$L_{пром} = \frac{Q^{CB} - Q}{P_{CB}} \quad (2.18)$$

$$L_{пром} = \frac{256,88 - 123,36}{64,61} = 2,07, \text{ м}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 29

У випадку, коли $L_{\text{пром}}$ менше 0,5 м, повітряний проміжок не облаштовують, а значення розосередження віднімають від довжини стовпчика заряду та додають до довжини стовпчика набивки (2.19) та (2.20):

$$L'_{\text{зар}} = L_{\text{зар}} - L_{\text{пром}} \quad (2.19)$$

$$L'_{\text{наб}} = L_{\text{наб}} + L_{\text{пром}} \quad (2.20)$$

У випадку, коли $L_{\text{пром}}$ більше 0,5 м, заряд необхідно розосередити таким чином, щоб у верхній частині свердловини розміщувалось 0,25-0,35 частини довжини загального заряду (2.21) та (2.22):

$$L_{\text{зар}}^{\text{вер}} = k_{\text{роз}}(L_{\text{зар}} - L_{\text{пром}}), \text{ м} \quad (2.21)$$

$$L_{\text{зар}}^{\text{вер}} = 0,25 \cdot (3,98 - 2,07) = 0,48, \text{ м}$$

При цьому у нижній частині буде розміщено залишок заряду:

$$L_{\text{зар}}^{\text{ниж}} = (1 - k_{\text{роз}})(L_{\text{зар}} - L_{\text{пром}}), \text{ м} \quad (2.22)$$

$$L_{\text{зар}}^{\text{ниж}} = (1 - 0,25) \cdot (3,98 - 2,07) = 1,43, \text{ м}$$

Між верхньою та нижньою частинами заряду облаштовують повітряний проміжок, рівний величині розосередження заряду (2.18).

У випадку, коли $L_{\text{пром}}$ перевищує значення в 3,5 м, заряд розосереджують на декілька частин, загальна колонка заряду в такому випадку складатиметься (2.23):

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 30

$$L_{зар} = L_{зар}^{вер} + L_{пром} + L_{зар}^{ниж} \quad (2.23)$$

Розрахунок довжини частин заряду знаходиться за формулами (2.24) (2.25) та (2.26):

$$L_{зар}^{ниж} = 2/3 m \quad (2.24)$$

$$L_{зар}^{вер} = 1/3 m \quad (2.25)$$

$$m = L_{зар} - L_{пром} \quad (2.26)$$

2.4. Розрахунок необхідної кількості свердловин та виходу підірваної гірничої маси

Необхідна кількість свердловин в ряді, для підірвання блоків, які забезпечать місячну роботу виймального устаткування (2.27):

$$n_{св}^м = \frac{Q^{доб} N_{дн.міс}}{K_{ра} [W + b(n_p - 1)] H_y}, \text{ шт} \quad (2.27)$$

$$n_{св}^м = \frac{700 \cdot 24}{1,2 \cdot 5,04 \cdot (6,3 + 5,36 \cdot (3 - 1)) \cdot 7} = 24, \text{ шт}$$

де: $N_{дн.міс}$ – к-сть робочих днів на місяць (21 – 24 дні);

$K_{ра}$ – коефіцієнт розпушення породи (1,1 – 1,5);

n_p – к-сть рядів свердловин (3–5 рядів для автомобільного транспорту; 2–3 ряди для залізничного транспорту);

$Q^{доб}$ – добова продуктивність ко корисній копалині, приймається у відповідності до вихідних даних (м³/добу).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 31

Загальна кількість свердловин, яка забезпечить місячну роботу виймального устаткування знаходиться як (2.28):

$$n_{\text{СВ}}^{\text{заг}} = n_p n_{\text{СВ}}^{\text{М}} \quad (2.28)$$

$$n_{\text{СВ}}^{\text{заг}} = 3 \cdot 24 = 72, \text{ шт}$$

Значення фактичного об'єму гірської маси, що піддаватиметься підриванню буде становити (2.29):

$$V_{\text{Г.М}}^{\text{міс}} = a n_{\text{СВ}}^{\text{М}} [W + b(n_p - 1)] H_y \quad (2.29)$$

$$V_{\text{Г.М}}^{\text{міс}} = 5,04 \cdot 24 \cdot (6,3 + 5,36 \cdot (3 - 1)) \cdot 7 = 14402,71, \text{ м}^3$$

Значення об'єму підрваної гірської маси в розпушеному стані становитиме (2.30):

$$V_{\text{Г.М.роз}}^{\text{міс}} = V_{\text{Г.М}}^{\text{міс}} K_p \quad (2.30)$$

$$V_{\text{Г.М.роз}}^{\text{міс}} = 14402,71 \cdot 1,2 = 17283,25, \text{ м}^3$$

2.5. Побудова паспорту буро-вибухових робіт

За результатами, отриманими в ході виконання розрахунків необхідно побудувати паспорт буро-вибухових робіт. На паспорті має бути позначено: відстань між рядами свердловин (а); відстань між свердловинами в ряді (b); висоту уступу (H_y); значення берми безпеки (С); значення лінії опору по підшві (W_p);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 32</i>

глибину свердловини ($L_{св}$); висоту колонки заряду розміщеного в свердловині ($L_{зар}$); висоту набивки ($L_{наб}$); глибину перебуру ($L_{пер}$).

Приклад побудови паспорта показаний на рис. 2.2. Паспорт складається з двох частин, перша з яких являє собою план (вид зверху), на якому власне розміщена сітка свердловин, в межах уступу що підлягає підриванню. На плані задається лінія перерізу, у відповідності до якої і будується сам переріз.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 33

Паспорт буровидбухових робіт

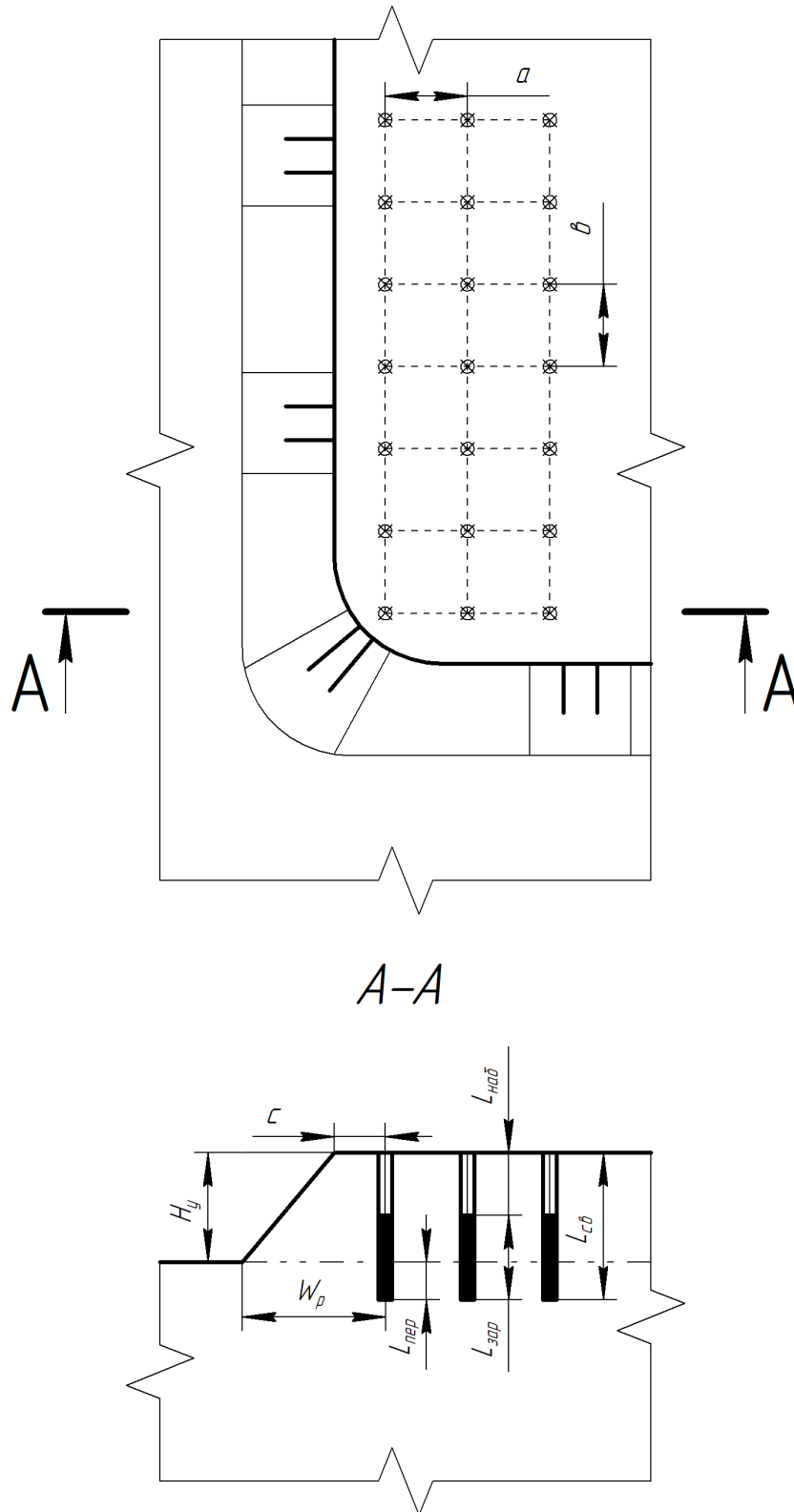


Рис.2.2. Приклад побудови паспорта буровибухових робіт

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 34

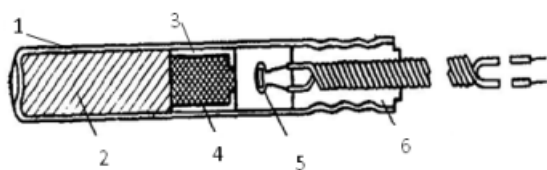
Практична робота №3. Розрахунок параметрів електровибухових мереж

Мета роботи – визначення кисневого балансу однокомпонентних та сумішевих вибухових речовин.

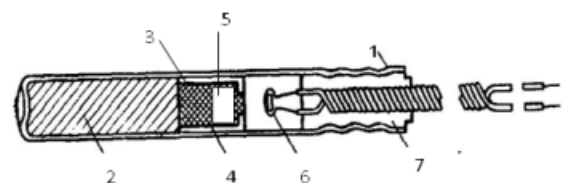
Теоретичні відомості:

Електричний спосіб підривання широко застосовується, як ефективний елемент комплексу гірничих робіт, пов'язаних з видобутком корисних копалин у відкритих та підземних умовах. До засобів електричного підривання відносяться: електродетонатори (ЕД); електричні проводи; джерело струму; контрольно-вимірювальну апаратуру.

Залежно від технічних характеристик електродетонатори діляться на групи: за часом спрацювання на **ЕД миттєвої, короткосповільненої та сповільненої дії**; за потужністю на ЕД нормальної та підвищеної здатності до ініціювання; за стійкістю – на ЕД запобіжні (для шахт небезпечних по газу та пилу) та незапобіжні; за термостійкістю – на ЕД для нормальних та високих температур.



Принципова схема ЕД миттєвої дії:
1 – металева гільза; 2 – вторинна ВР (тетрил - 1,2г); 3 – чашечка,
4 – первинна ВР (гримуча ртуть – 0,5г); 5 – електрозапальник;
6 – пластикова пробка.



Принципова схема електродетонаторів короткосповільненої та сповільненої дії:
1 – металева гільза; 2 – вторинна ВР (тен); 3 – чашечка; 4 – первинна ВР (азид свинцю); 5 – сповільнююча ВР;
6 – електрозапальник; 7 – пластикова пробка.

Рис.3.1. Типи ЕД

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 35

Принцип дії будь-якого ЕД полягає в тому, що електричний струм нагріває місток після чого спалахує запалювальна речовина, яка через отвір у чашці підриває первинну ВР детонатора (у ЕДКС та ЕДСД після горіння сповільнюючої речовини), після чого спалахує вторинна ВР.

Для монтажу електропідривної мережі використовуються такі типи проводів: **магістральні** (які з'єднують джерело струму з дільничними проводами); **дільничні** (які з'єднують кінцеві проводи ЕД між собою); **кінцеві** (проводи, які відходять від електродетонаторів до устя свердловин).

У якості джерела струму використовують підривні машинки, освітлювальні та силові електромережі. У нашій країні часто застосовують конденсаторні підривні машинки з ручним генератором струму чи з батареями.

Для визначення справності електропідривної мережі та її опору використовують спеціальні контрольно-вимірювальні прилади з максимальною силою струму 50 мА. Найбільш розповсюдженими вимірювальними приладами є: вимірювальний місток «Р-353», яким визначається опір проводів, ЕД та електропідривних мереж; омметри «ОВЦ-2», «М-57» та омметри-класифікатори ЕД «ОКЕД-1»; п'єзоелектричні підривні випробувачі «ВІО-3».

Монтаж електропідривної мережі виконують після повної зарядки свердловин (від зарядів до джерела струму). Електропідривна мережа повинна бути двопровідною (заборонено використовувати землю, труби, рейки та ін., у якості одного з проводів). Кінці проводів змонтованої частини мережі повинні бути замкнутими. Електропостачання у межі зони монтажу підривної мережі повинно бути відключене. У електропідривних мережах використовують три типи з'єднання проводів: **послідовне**; **паралельне** (пучкове та ступеневе); **змішане** (послідовно-паралельне та паралельно-послідовне).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 36

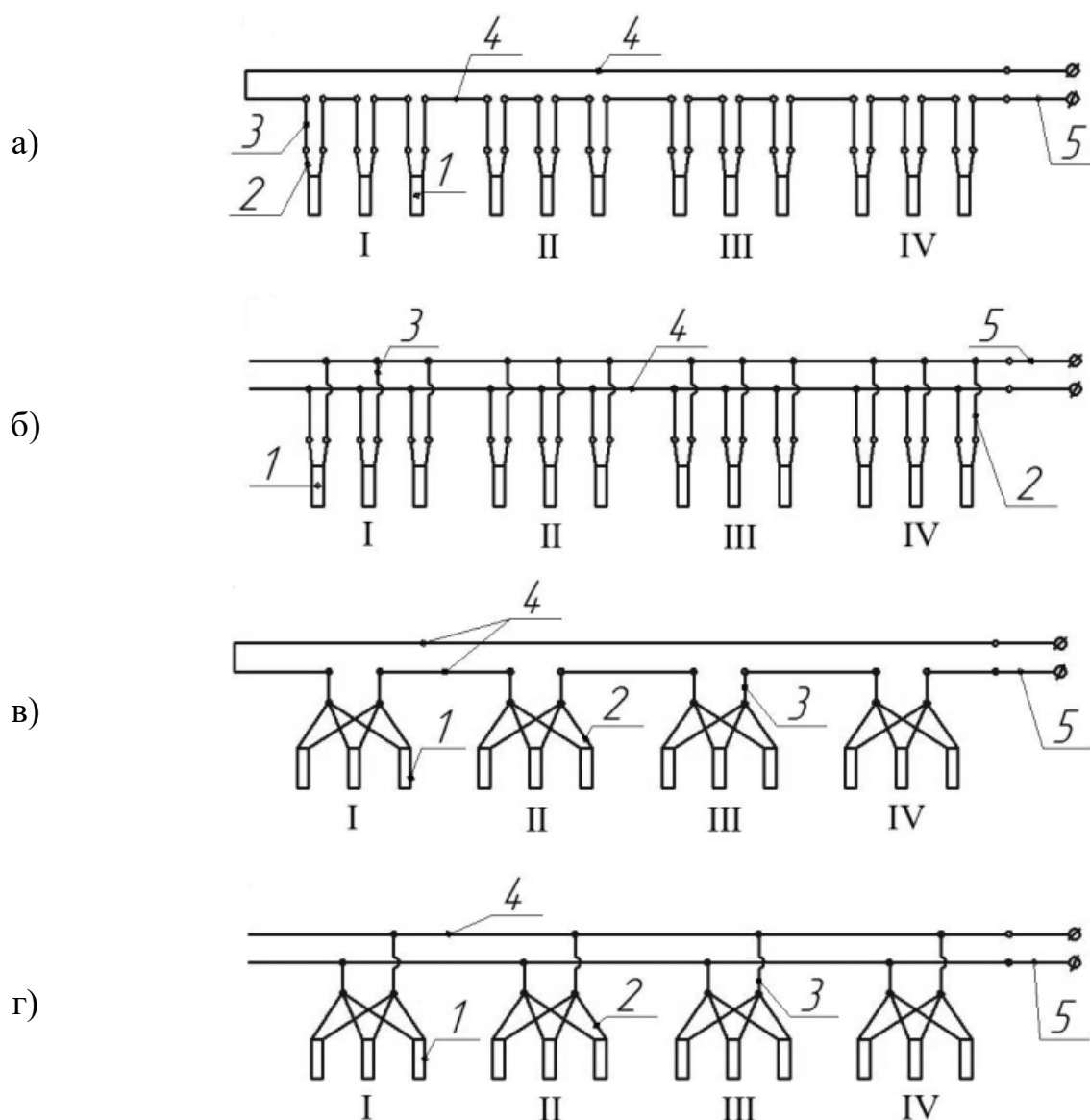


Рис.3.2. Схеми з'єднання електродетонаторів в електропідривної мережі.

а) – послідовна; *б)* – паралельна; *в)* – змішана (пучково-послідовна); *г)* – змішана (пучково-паралельна): I÷IV – номер гілки; 1 – електродетонатор; 2 - вивідні проводи; 3 – кінцеві проводи; 4 – дільничні проводи; 5 – магістральні проводи.

3.1. Розрахунок електропідривної мережі з послідовним з'єднанням електродетонатора при підриванні підривною машинкою

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 37</i>

Завдання: розрахувати параметри електропідривної мережі при використанні підривної машинки з послідовним з'єднанням електродетонаторів, та параметри електропідривної мережі при використанні в якості джерела струму силової або освітлювальної мережі з послідовним, паралельним, змішаним пучково-послідовним і змішаним пучково-паралельним з'єднанням електродетонаторів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 38

Вихідні дані:

Таблиця 3.1

Вихідні дані для розрахунку електропідвальної мережі з послідовним з'єднанням електродетонатора при підірванні підвальною машинкою

Варіант	Марка підвальної машинки	Марка електродетонатора	Кількість послідовно з'єднаних електродетонаторів	Загальна довжина вивідних проводів, м	Марка вивідних проводів	Загальна довжина кінцевих проводів, м	Марка кінцевих проводів	Загальна довжина дільничних проводів, м	Марка дільничних проводів	Загальна довжина магістральних проводів, м	Марка магістральних проводів
1	КПМ-3	ЕД-8э	170	680	ЕВ	510	ЕВ	81	ВМВ	978	ПР-3000
2	ВМК-500	ЕД-8ж	360	1080	ЕП	1800	ЕП	60	ВМП	828	АПР-660
3	КВП-1/100М	ЕДК3-ОП	30	60	ЕВЖ	60	ЕВЖ	120	ВМВЖ	730	АПВ-380
4	ПІВ-100М	ЕДК3-1ПМ	42	126	ЕПЖ	168	ЕПЖ	78	ВМПЖ	892	ПР-3000
5	КПМ-3	ЕДК3-2ПМ	182	910	ЕВ	364	ЕВ	111	СПП-2	870	АПР-660
6	ВМК-500	ЕДК3-3ПМ	460	1840	ЕП	2300	ЕП	78	СПП-1	852	АПВ-380
7	КВП-1/100М	ЕДК3-4ПМ	50	150	ЕВЖ	150	ЕВЖ	84	ПВ-660	798	ПР-3000
8	ПІВ-100М	ЕДК3-5ПМ	40	80	ЕПЖ	80	ЕПЖ	72	ВМВ	676	АПР-660
9	КПМ-3	ЕДК3-6ПМ	160	480	ЕВ	320	ЕВ	96	ВМП	834	АПВ-380
10	ВМК-500	ЕДК3-7ПМ	200	800	ЕП	1000	ЕП	93	ВМВЖ	800	ПР-3000
11	КВП-1/100М	ЕДК3-1П	60	180	ЕВЖ	120	ЕВЖ	99	ВМПЖ	620	АПР-660
12	ПІВ-100М	ЕДК3-2П	30	120	ЕПЖ	150	ЕПЖ	93	СПП-2	978	АПВ-380
13	КПМ-3	ЕДК3-3П	150	450	ЕВ	750	ЕВ	63	СПП-1	888	ПР-3000
14	ВМК-500	ЕДК3-4П	58	116	ЕП	232	ЕП	99	ПВ-660	928	АПР-660
15	КВП-1/100М	ЕДК3-5П	60	180	ЕВЖ	180	ЕВЖ	72	ВМВ	892	АПВ-380
16	ПІВ-100М	ЕДЗД-7	86	344	ЕПЖ	430	ЕПЖ	120	ВМП	670	ПР-3000

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 39

Продовження таблиці 3.1

Варіант	Марка підривної машинки	Марка електродетонатора	Кількість послідовно з'єднаних електродетонаторів	Загальна довжина вивідних проводів, м	Марка вивідних проводів	Загальна довжина кінцевих проводів, м	Марка кінцевих проводів	Загальна довжина дільничних проводів, м	Марка дільничних проводів	Загальна довжина магістральних проводів, м	Марка магістральних проводів
17	КПМ-3	ЕДЗД-8	190	760	ЕВ	760	ЕВ	93	ВМВЖ	804	АПР-660
18	ВМК-500	ЕДЗД-9	280	560	ЕП	560	ЕП	90	ВМПЖ	896	АПВ-380
19	КВП-1/100М	ЕДЗД-10	80	400	ЕВЖ	400	ЕВЖ	102	СПП-2	820	ПР-3000
20	ПІВ-100М	ЕДЗД-11	20	60	ЕПЖ	60	ЕПЖ	69	СПП-1	734	АПР-660
21	КПМ-3	ЕДЗД-12	140	280	ЕВ	280	ЕВ	120	ПВ-660	680	АПВ-380
22	ВМК-500	ЕДЗД-13	750	1500	ЕП	1500	ЕП	69	ВМВ	966	ПР-3000
23	КВП-1/100М	ЕДЗД-14	50	250	ЕВЖ	200	ЕВЖ	117	ВМП	764	АПР-660
24	ПІВ-100М	ЕДЗД-15	74	370	ЕПЖ	296	ЕПЖ	84	ВМВЖ	658	АПВ-380
25	КПМ-3	ЕД-8э	56	112	ЕВ	112	ЕВ	90	ВМПЖ	714	ПР-3000

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 40

Розрахунок електропідривної мережі з послідовним з'єднанням ЕД при підриванні підривною машинкою зводиться до визначення загального опору мережі (R) і порівняння його з опором підривної машинки.

Загальний опір мережі дорівнює:

$$R = R_B + R_K + R_D + R_M + R_{ED} \times n \quad (3.1)$$

де R_B – опір вивідних проводів, Ом;

R_K – опір кінцевих проводів, Ом;

R_D – опір дільничних проводів, Ом;

R_M – опір магістральних проводів, Ом;

R_{ED} – опір електродетонатора, Ом;

n – кількість електродетонаторів.

Для спрощення розрахунку, формулу можна записати в дещо іншому вигляді:

$$R = R_{B,D,K,M} + R_{ED} \times n \quad (3.2)$$

де $R_{B,D,K,M}$ – сумарне значення опору проводів електромережі:

$$R_{B,D,K,M} = R_B L_B + R_K L_K + R_D L_D + R_M L_M \quad (3.3)$$

де R_B – опір одного метра вивідного проводу, Ом/м;

R_K – опір одного метра кінцевого проводу, Ом/м;

R_D – опір одного метра дільничного проводу, Ом/м;

R_M – опір одного метра магістрального проводу, Ом/м;

L_B – сумарна довжина вивідних проводів, м;

L_K – сумарна довжина кінцевих проводів, м;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 41

L_D – сумарна довжина дільничних проводів, м;

L_M – сумарна довжина магістральних проводів, м.

Після розрахунку загального опору мережі, має виконуватись рівність:

$$R \leq R_{п.м.}$$

де $R_{п.м.}$ – опір підривної машинки, Ом.

В свою чергу, значення сили струму, що подається на один електродетонатор буде знаходитись як:

$$I = U/R \quad (3.4)$$

де U – напруга підривної машинки, В.

Таблиця 3.2

Характеристики електродетонаторів

№ з/п	Марка електродетонатора	Інтервал сповільнення між серіями, мс	Сповільнення з максимальними відхиленнями (час спрацювання), мс	Колір фарбування придонної ділянки гільзи	Опір електродетонатора, Ом
1	ЕД-8э	–	Миттєве	Не фарбується	3,8
2	ЕД-8ж	–	Миттєве	– // –	3,7
3	ЕДКЗ-ОП	–	4 ± 2	– // –	2,5
4	ЕДКЗ-1ПМ	15	15 ± 7	Чорний	2,3
5	ЕДКЗ-2ПМ	15	30 ± 7	Червоний	3,5
6	ЕДКЗ-3ПМ	15	45 ± 7	Не фарбується	2,6
7	ЕДКЗ-4ПМ	15	60 ± 7	Зелений	2,0
8	ЕДКЗ-5ПМ	20	80 ± 10	Жовтий	3
9	ЕДКЗ-6ПМ	20	100 ± 10	Білий	3,1
10	ЕДКЗ-7ПМ	20	120 ± 10	Синій	2,5
11	ЕДКЗ-1П	25	25 ± 7	Чорний	3,7
12	ЕДКЗ-2П	25	50 ± 7	Червоний	2,9
13	ЕДКЗ-3П	25	75 ± 110	Не фарбується	3,8
14	ЕДКЗ-4П	25	100 ± 10	Зелений	3,4
15	ЕДКЗ-5П	25	125 ± 10	Жовтий	2,4
16	ЕДЗД-7	500	$500 + 50 - 150$	Жовтий	2,5

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 42

Продовження таблиця 3.2

№ з/п	Марка електродетонатора	Інтервал сповільнення між серіями, мс	Сповільнення з максимальними відхиленнями (час спрацювання), мс	Колір фарбування придонної ділянки гільзи	Опір електродетонатора, Ом
17	ЕДЗД-8	250	750 + 125 – 150	Рожевий	2,8
18	ЕДЗД-9	250	1000 + 300 – 75	Помаранчевий	2,1
19	ЕДЗД-10	500	1500 + 350 – 150	Голубий	2,5
20	ЕДЗД-11	500	2000 + 600 – 100	Світло-бузковий	3,7
21	ЕДЗД-12	2000	4000 ± 500	Білий	2,6
22	ЕДЗД-13	2000	6000 ± 600	Чорний	2,3
23	ЕДЗД-14	2000	8000 ± 900	Зелений	3,9
24	ЕДЗД-15	2000	10000 + 1600 – 800	Фіолетовий	2,5

Таблиця 3.3

Характеристики електропроводів

Марка проводу	Матеріал жили	Кількість жил	Діаметр жили, мм	Площа поперечного перерізу жили, мм ²	Опір 1 км проводу при температурі +20°C, Ом	Тип ізоляції	Призначення проводів	Маса 1 кг проводу
ЕВ	Мідь	1	0,5	0,2	100	Поліхлорвінілова	Вивідні та кінцеві	3,1
ЕП	Мідь	1	0,5	0,2	100	Поліетиленова	Вивідні та кінцеві	-
ЕВЖ	Сталь луджена	1	0,6	0,28	520	Поліхлорвінілова	Вивідні та кінцеві	4
ЕПЖ	Сталь луджена	1	0,6	0,28	520	Поліетиленова	Вивідні та кінцеві	-
ВМВ	Мідь	1	0,8	0,5	40	Поліхлорвінілова	Магістральні та дільничні	8,2
ВМП	Мідь	1	0,8	0,5	40	Поліетиленова	Магістральні та дільничні	-
ВМВЖ	Сталь оцинкована	1	1,2	1,13	140	Поліхлорвінілова	Магістральні та дільничні	14,3
ВМПЖ	Сталь оцинкована	1	1,2	1,13	140	Поліетиленова	Магістральні та дільничні	-
СПП-2	Мідь	2	0,8	0,5	41	Поліетиленова	Магістральні та дільничні	16,5
СПП-1	Мідь	1	0,8	0,5	39,5	Поліетиленова	Магістральні та дільничні	8
ПВ-660	Мідь	1	1,1	1	18	Поліетиленова	Магістральні та дільничні	16
ПР-3000	Мідь	1	1,4	1,5	12	Гумова	Магістральні	51
АПР-660	Алюміній	1	2,3	4	7,4	Гумова	Магістральні	34
АПВ-380	Алюміній	1	3,6	10	2,7	Поліхлорвінілова	Магістральні	52

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 43

Таблиця 3.4

Характеристики підривних машинок

Тип приладу	Напруга на конденсаторі, В	Основні розміри, мм	Маса з футляром, кг	Максимальний опір мережі при послідовному під'єднанні, Ом	Кількість послідовно з'єднаних ЕД яка підривається, шт	Первинне джерело струму
Індукторні підривні машинки						
КПМ-3	1600	172*86*120	2,3	600	200	Індуктор
ВМК-500	3000	280*165*165	11	2100	800	Індуктор
Батарейні підривні машинки						
КВП-1/100М	600	152*122*100	2	320	100	Три сухих елементи "Сагурн"
ПІВ-100М	600	195*126*95	2,7	320	100	Три сухих елементи "Сагурн"

Приклад виконання розрахунків:

Приклад розрахунку параметрів електропідривної мережі при використанні підривної машинки з послідовним з'єднанням електродетонаторів буде показаний на основі наступних вихідних даних: марка підривної машинки – КПМ-3; марка електродетонаторів – ЕД-8ж; кількість електродетонаторів у складі мережі – 80 шт; сумарна довжина вивідних проводів – 120 м; марка вивідних проводів – ЕВ; сумарна довжина кінцевих проводів – 160 м; марка кінцевих проводів – ЕВ; сумарна довжина дільничних проводів – 75 м; марка дільничних проводів – ВМВ; сумарна довжина магістральних проводів – 840 м; марка магістральних проводів – ПР-3000.

1. Виконуємо розрахунок загального опору мережі за спрощеною формулою:

$$R = R_{В,Д,К,М} + R_{ЕД} \times n$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 44

$$R = 41,08 + 2,7 \cdot 80 = 257,08 \text{ Ом}$$

де $R_{В,Д,К,М}$ – сумарне значення опору проводів електромережі:

$$R_{В,Д,К,М} = R_{В}L_{В} + R_{К}L_{К} + R_{Д}L_{Д} + R_{М}L_{М}$$

$$R_{В,Д,К,М} = 120 \cdot 0,1 + 160 \cdot 0,1 + 75 \cdot 0,4 + 840 \cdot 0,012 = 41,08 \text{ Ом}$$

де $R_{В}$ – опір одного метра вивідного проводу за таблицею 3.3, Ом/м;

$R_{К}$ – опір одного метра кінцевого проводу за таблицею 3.3, Ом/м;

$R_{Д}$ – опір одного метра дільничного проводу за таблицею 3.3, Ом/м;

$R_{М}$ – опір одного метра магістрального проводу за таблицею 3.3, Ом/м;

$L_{В}$ – сумарна довжина вивідних проводів за таблицею 3.1, м;

$L_{К}$ – сумарна довжина кінцевих проводів за таблицею 3.1, м;

$L_{Д}$ – сумарна довжина дільничних проводів за таблицею 3.1, м;

$L_{М}$ – сумарна довжина магістральних проводів за таблицею 3.1, м.

2. Після розрахунку загального опору мережі, має виконуватись рівність:

$$R \leq R_{П.М.}$$

$$257,08, \text{ Ом} \leq 600 \text{ Ом}$$

де $R_{П.М.}$ – опір підривної машинки за таблицею 3.4, Ом

3. Знаходимо значення сили струму, що подається на один електродетонатор:

$$I = U/R$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 45</i>

$$I = 1600/257,08 = 6,22 \text{ A}$$

де U – напруга підривної машинки за таблицею 3.4, В.

3.2. Розрахунок електропідривної мережі при використанні в якості джерела струму силової, або освітлювальної мережі з послідовним, паралельним, змішаним пучково-послідовним зі змішаним пучково-паралельним з'єднанням електродетонаторів

Завдання:

Розрахувати параметри електропідривної мережі при використанні в якості джерела струму силової або освітлювальної мережі з послідовним, паралельним, змішаним пучково-послідовним і змішаним пучково-паралельним з'єднанням електродетонаторів.

В таблиці 3.5, типи з'єднання заковані наступним чином: а – мережа з послідовним з'єднанням електродетонаторів; б – мережа з паралельним з'єднанням електродетонаторів; в – мережа зі змішаним паралельно-послідовним з'єднанням електродетонаторів; г – мережа зі змішаним пучково-паралельним з'єднанням електродетонаторів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 46

Вихідні дані:

Таблиця 3.5

Вихідні дані для розрахунку електропідвної мережі з послідовним, паралельним, змішаним пучково-послідовним зі змішаним пучково-паралельним з'єднанням електродетонаторів

Варіант	Тип з'єднання	Марка електродетонатора	К-сть ЕД у складі однієї гілки	К-сть гілок	К-сть вивідних проводів у складі однієї гілки	Довжина одного вивідного проводу, м	Марка вивідних проводів	К-сть кінцевих проводів у складі однієї гілки	Довжина одного кінцевого проводу, м	Марка кінцевих проводів	Загальна довжина дільничних проводів, м	Марка дільничних проводів	Загальна довжина магістральних проводів, м	Марка магістральних проводів	Напруга мережі, В
1	а	ЕД-8э	4	4	8	16	ЕВ	8	2	ЕВ	40	ВМВ	762	ПР-3000	320
2	б	ЕД-8ж	5	4	10	20	ЕП	10	4	ЕП	72	ВМП	606	АПР-660	320
3	в	ЕДК3-ОП	5	4	10	8	ЕВЖ	2	3	ЕВЖ	56	ВМВЖ	672	АПВ-380	320
4	г	ЕДК3-1ПМ	5	4	10	20	ЕПЖ	2	3	ЕПЖ	66	ВМПЖ	650	ПР-3000	320
5	а	ЕДК3-2ПМ	4	4	8	18	ЕВ	8	3	ЕВ	54	СПП-2	904	АПР-660	320
6	б	ЕДК3-3ПМ	5	4	10	8	ЕП	10	2	ЕП	54	СПП-1	914	АПВ-380	320
7	в	ЕДК3-4ПМ	3	4	6	14	ЕВЖ	2	3	ЕВЖ	52	ПВ-660	908	ПР-3000	320
8	г	ЕДК3-5ПМ	4	4	8	10	ЕПЖ	2	3	ЕПЖ	54	ВМВ	802	АПР-660	320
9	а	ЕДК3-6ПМ	5	4	10	18	ЕВ	10	4	ЕВ	58	ВМП	722	АПВ-380	320
10	б	ЕДК3-7ПМ	3	4	6	14	ЕП	6	2	ЕП	74	ВМВЖ	616	ПР-3000	320
11	в	ЕДК3-1П	3	4	6	16	ЕВЖ	2	3	ЕВЖ	62	ВМПЖ	746	АПР-660	320
12	г	ЕДК3-2П	4	4	8	12	ЕПЖ	2	2	ЕПЖ	58	СПП-2	670	АПВ-380	320
13	а	ЕДК3-3П	2	4	4	16	ЕВ	4	3	ЕВ	44	СПП-1	890	ПР-3000	320
14	б	ЕДК3-4П	3	4	6	12	ЕП	6	3	ЕП	70	ПВ-660	790	АПР-660	320
15	в	ЕДК3-5П	5	4	10	16	ЕВЖ	2	2	ЕВЖ	52	ВМВ	738	АПВ-380	320
16	г	ЕДЗД-7	5	4	10	16	ЕПЖ	2	3	ЕПЖ	60	ВМП	656	ПР-3000	320

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 47

Продовження таблиці 3.5

Варіант	Тип з'єднання	Марка електродетонатора	К-сть ЕД у складі однієї гілки	К-сть гілок	К-сть вивідних проводів у складі однієї гілки	Довжина одного вивідного проводу, м	Марка вивідних проводів	К-сть кінцевих проводів у складі однієї гілки	Довжина одного кінцевого проводу, м	Марка кінцевих проводів	Загальна довжина дільничних проводів, м	Марка дільничних проводів	Загальна довжина магістральних проводів, м	Марка магістральних проводів	Напруга мережі, В
17	а	ЕДЗД-8	3	4	6	20	ЕВ	6	3	ЕВ	58	ВМВЖ	914	АПР-660	320
18	б	ЕДЗД-9	3	4	6	10	ЕП	6	3	ЕП	60	ВМПЖ	626	АПВ-380	320
19	в	ЕДЗД-10	4	4	8	18	ЕВЖ	2	3	ЕВЖ	74	СПП-2	828	ПР-3000	320
20	г	ЕДЗД-11	5	4	10	12	ЕПЖ	2	4	ЕПЖ	74	СПП-1	844	АПР-660	320
21	а	ЕДЗД-12	4	4	8	14	ЕВ	8	3	ЕВ	52	ПВ-660	860	АПВ-380	320
22	б	ЕДЗД-13	2	4	4	8	ЕП	4	3	ЕП	50	ВМВ	854	ПР-3000	320
23	в	ЕДЗД-14	3	4	6	10	ЕВЖ	2	3	ЕВЖ	72	ВМП	604	АПР-660	320
24	г	ЕДЗД-15	2	4	4	16	ЕПЖ	2	3	ЕПЖ	50	ВМВЖ	678	АПВ-380	320
25	а	ЕД-8э	5	4	10	14	ЕВ	10	4	ЕВ	60	ВМПЖ	674	ПР-3000	320

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 48

Спрощений розрахунок електропідривної мережі при підриванні від силової або освітлювальної мережі наступний: кожен ЕД або група ЕД при паралельному з'єднанні складає окрему гілку, яка з'єднується за допомогою проводів з джерелом струму.

При використанні послідовної (рис. 3.2, а) схеми з'єднання, опір окремої гілки буде знаходитись за формулою:

$$R_{\Gamma} = r_{\text{ЕД}} + r_{\text{В}} + r_{\text{К}} \quad (3.5)$$

Опір електродетонаторів у складі гілки буде знаходитись як добуток кількості електродетонаторів та значення опору одного електродетонатора:

$$r_{\text{ЕД}} = n_{\text{ЕД}} R_{\text{ЕД}} \quad (3.6)$$

де $n_{\text{ЕД}}$ – кількість ЕД у складі однієї гілки;

$R_{\text{ЕД}}$ – опір одного ЕД, Ом.

Опір вивідних і кінцевих проводів в даному випадку знаходиться як добуток довжини проводу та опору даного проводу на один метр:

$$r_{\text{В}} = R_{\text{В}} L_{\text{В}} \quad (3.7)$$

$$r_{\text{К}} = R_{\text{К}} L_{\text{К}}$$

де $R_{\text{В}}$ – опір одного метра вивідного проводу, Ом/м;

$R_{\text{К}}$ – опір одного метра кінцевого проводу, Ом/м;

$L_{\text{В}}$ – сумарна довжина вивідних проводів за формулою (3.8), м;

$L_{\text{К}}$ – сумарна довжина кінцевих проводів за формулою (3.9), м.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 49

$$L_B = n_{B_r} \cdot l_B \cdot n_r, \text{ м} \quad (3.8)$$

де n_{B_r} – кількість вивідних проводів у складі однієї гілки, шт;

l_B – довжина одного вивідного проводу, м;

n_r – кількість гілок у складі електропровідної мережі, шт.

$$L_K = n_{B_r} \cdot l_K \cdot n_r, \text{ м} \quad (3.9)$$

де n_{B_r} – кількість кінцевих проводів у складі однієї гілки, шт;

l_B – довжина одного кінцевого проводу, м;

n_r – кількість гілок у складі електропровідної мережі, шт.

При використанні **паралельної та змішаної пучково-паралельної (рис. 3.2, б і г) схем з'єднання**, опір окремої гілки буде знаходитись як:

$$R_r = \frac{1}{\frac{1}{R_{ED_1}} + \frac{1}{R_{ED_2}} + \dots + \frac{1}{R_{ED_n}}} + \frac{1}{\frac{1}{r_{K_1}} + \frac{1}{r_{K_2}} + \dots + \frac{1}{r_{K_n}}} + \frac{1}{\frac{1}{r_{B_1}} + \frac{1}{r_{B_2}} + \dots + \frac{1}{r_{B_n}}} \quad (3.10)$$

де R_{ED_n} – опір одного електродетонатора, Ом;

r_{B_n} – опір одного вивідного проводу згідно (3.11), Ом;

r_{K_n} – опір одного кінцевого проводу згідно (3.12), Ом.

$$r_{B_n} = l_B \cdot R_B \quad (3.11)$$

де l_B – довжина одного вивідного проводу, м;

R_B – опір одного метра вивідного проводу, Ом/м.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 50

$$r_{K_n} = l_K \cdot R_K \quad (3.12)$$

де l_K – довжина одного кінцевого проводу, м;

R_K – опір одного метра кінцевого проводу, Ом/м

При використанні змішаної пучково-послідовної (рис. 3.2, в) схеми з'єднання, опір окремої гілки може бути знайдений як:

$$R_{\Gamma} = \frac{1}{\frac{1}{R_{ED_1}} + \frac{1}{R_{ED_2}} + \dots + \frac{1}{R_{ED_n}}} + \frac{1}{\frac{1}{r_{K_1}} + \frac{1}{r_{K_2}} + \dots + \frac{1}{r_{K_n}}} + r_B \quad (3.13)$$

де R_{ED} – опір одного електродетонатора, Ом;

r_B – загальний опір вивідних проводів згідно (3.14), Ом;

r_K – опір одного кінцевого проводу (3.16), Ом.

$$r_B = R_B L_B \quad (3.14)$$

де: R_B – опір одного метра вивідного проводу, Ом/м;

L_B – сумарна довжина вивідних проводів згідно (3.15), м;

$$L_B = n_{B_{\Gamma}} \cdot l_B \cdot n_{\Gamma}, \text{ м} \quad (3.15)$$

де $n_{B_{\Gamma}}$ – кількість вивідних проводів у складі однієї гілки, шт;

l_B – довжина одного вивідного проводу, м;

n_{Γ} – кількість гілок у складі електропровідної мережі, шт.

$$r_{K_n} = l_K \cdot R_K \quad (3.16)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 51

де: l_K – довжина одного кінцевого проводу, м;

R_K – опір одного метра кінцевого проводу, Ом/м.

Опір всієї мережі буде рівний:

$$R = r_M + r_D + \frac{1}{\frac{1}{R_{\Gamma_1}} + \frac{1}{R_{\Gamma_2}} + \dots + \frac{1}{R_{\Gamma_n}}} \quad (3.17)$$

де R_{Γ_n} – опір гілок мережі, Ом;

r_M – загальне значення опору магістральних проводів згідно (3.18), Ом;

r_D – загальне значення опору дільничних проводів згідно (3.19), Ом.

$$r_M = L_M \cdot R_M \quad (3.18)$$

де L_M – загальна довжина магістральних проводів, м;

R_M – опір одного метра магістрального проводу, Ом/м.

$$r_D = L_D \cdot R_D \quad (3.19)$$

де L_D – загальна довжина магістральних проводів, м;

R_D – опір одного метра магістрального проводу, Ом/м.

Сила струму у магістралі знаходитиметься як:

$$I_M = \frac{U}{R} \quad (3.20)$$

де: U – напруга мережі, В.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 52

Сила струму, що припадає на один електродетонатор:

$$I_{\text{ЕД}} = \frac{I_{\text{М}}}{n_{\text{Г}} n_{\text{Д}}} \quad (3.21)$$

При цьому має виконуватись умова: $I_{\text{ЕД}} \geq I_{\text{ГАР}}$.

де $I_{\text{ЕД}}$ – струм в електродетонаторі, А;

$I_{\text{ГАР}}$ – гарантований струм (мінімально допустиме значення сили струму 2,5 А);

$n_{\text{Г}}$ – кількість гілок мережі, шт;

$n_{\text{Д}}$ – кількість електродетонаторів у гілці, шт.

Приклад виконання розрахунків:

Приклад розрахунку параметрів електропідривної мережі при підриванні від силової або освітлювальної мережі буде показаний на основі наступних вихідних даних: тип з'єднання ЕД – паралельне; марка електродетонаторів – ЕДЗД-13; кількість ЕД у складі однієї гілки – 2 шт; кількість гілок у складі мережі – 4 шт; кількість вивідних проводів у складі однієї гілки – 4 шт; довжина одного вивідного проводу – 9 м; тип вивідних проводів – ЕП; кількість кінцевих проводів у складі однієї гілки – 3 шт; довжина одного кінцевого проводу – 4 м; тип кінцевих проводів – ЕП; загальна довжина дільничних проводів – 52 м; тип дільничних проводів – ВМВ; загальна довжина магістральних проводів – 870 м; тип магістральних проводів – ПР-3000; напруга мережі – 320В.

1. Знаходимо опір окремої гілки при використанні **паралельної (рис. 3.2, б)** схем з'єднання:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 53

$$R_{\Gamma} = \frac{1}{\frac{1}{R_{ED_1}} + \frac{1}{R_{ED_2}} + \dots + \frac{1}{R_{ED_n}}} + \frac{1}{\frac{1}{r_{K_1}} + \frac{1}{r_{K_2}} + \dots + \frac{1}{r_{K_n}}} + \frac{1}{\frac{1}{r_{B_1}} + \frac{1}{r_{B_2}} + \dots + \frac{1}{r_{B_n}}}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{1}{\frac{1}{2,3} + \frac{1}{2,3}} + \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9}} + \frac{1}{\frac{1}{0,4} + \frac{1}{0,4} + \frac{1}{0,4}} = 1,52 \text{ Ом}$$

де R_{ED_n} – опір одного електродетонатора, Ом;

r_{B_n} – опір одного вивідного проводу згідно (3.11), Ом;

r_{K_n} – опір одного кінцевого проводу згідно (3.12), Ом.

$$r_{B_n} = l_B \cdot R_B$$

$$r_{B_n} = 9 \cdot 0,1 = 0,9 \text{ Ом}$$

де l_B – довжина одного вивідного проводу згідно табл.3.5, м;

R_B – опір одного метра вивідного проводу згідно табл.3.3, Ом/м.

$$r_{K_n} = l_K \cdot R_K$$

$$r_{K_n} = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ Ом}$$

де l_K – довжина одного кінцевого проводу згідно табл.3.5, м;

R_K – опір одного метра кінцевого проводу згідно табл.3.3, Ом/м

2. Виконуємо розрахунок опору всієї мережі:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 54

$$R = r_M + r_D + \frac{1}{\frac{1}{R_{\Gamma_1}} + \frac{1}{R_{\Gamma_2}} + \dots + \frac{1}{R_{\Gamma_n}}}$$

$$R = 10,44 + 2,08 + \frac{1}{\frac{1}{1,52} + \frac{1}{1,52} + \frac{1}{1,52} + \frac{1}{1,52}} = 12,9 \text{ Ом}$$

де R_{Γ_n} – опір гілок мережі, Ом;

r_M – загальне значення опору магістральних проводів згідно (3.18), Ом;

r_D – загальне значення опору дільничних проводів згідно (3.19), Ом.

$$r_M = L_M \cdot R_M$$

$$r_M = 870 \cdot 0,012 = 10,44 \text{ Ом}$$

де L_M – загальна довжина магістральних проводів згідно табл.3.5, м;

R_M – опір одного метра магістрального проводу згідно табл.3.3, Ом/м.

$$r_D = L_D \cdot R_D$$

$$r_D = 52 \cdot 0,04 = 2,08 \text{ Ом}$$

де L_D – загальна довжина магістральних проводів згідно табл.3.5, м;

R_D – опір одного метра магістрального проводу згідно табл.3.3, Ом/м.

3. Знаходимо значення сили струму у мережі:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 55

$$I_M = \frac{U}{R}$$

$$I_M = \frac{320}{12,9} = 24 \text{ A}$$

де: U – напруга мережі (В) (таблиця 3.5).

4. Виконуємо розрахунок значення сили струму, що припадає на один електродетонатор:

$$I_{ED} = \frac{I_M}{n_r n_d}$$

$$I_{ED} = \frac{24}{4 \cdot 2} = 3 \text{ A}$$

При цьому має виконуватись умова: $I_{ED} \geq I_{GAR}$.

$$3 \text{ A} \geq 2,5 \text{ A}$$

де I_{ED} – струм в електродетонаторі, А;

I_{GAR} – гарантований струм (мінімально допустиме значення сили струму 2,5 А);

n_r – кількість гілок мережі згідно табл.3.5, шт;

n_d – кількість електродетонаторів у гілці згідно табл.3.5, шт.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 56

Практична робота № 4. Побудова схеми ініціювання неелектричної мережі

Мета роботи – проектування та складання схеми ініціювання неелектричної мережі.

Теоретичні відомості:

При проектуванні та монтажі систем типу "Імпульс" дуже важливим є дотримуватись правил техніки їх експлуатації. Послідовність спрацьовування мережі забезпечується за допомогою пристроїв УНС-ПА або УНС-П. Приклад монтажу показаний на рис. 8.1.

Вільні кінці хвилеводу закріплені в сполучних пристроях УНС-ПА або УНС-П. Як стартові пристрої використовуються УНС-ПА-0 або УНС-П-0 з уповільненням 0 мс.

Уповільнення між рядами забезпечується пристроями УНС-ПА-40 та УНС-П-40 з часом уповільнення 40 мс. При цьому свердловина першого ряду вибухне через 450 мс, другого ряду – через 490 мс, третього – через 530 мс і т.д.

До моменту вибуху ВР в свердловині першого ряду детонаційна хвиля досягне КД пристрою УНС-С-450, який знаходиться в свердловині одинадцятого ряду і КД пристрою УНС-ПА-40 або УНС-П-40, що знаходиться у свердловині дванадцятого ряду. Тому ризик пошкодження хвилеводу пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С в результаті переміщення і розльоту гірської маси практично виключається.

Час поверхневих уповільнень за наявності внутрішньосвердловинних уповільнень може бути істотно збільшений. Для забезпечення високої ефективності вибуху ВР в свердловинах бойовики з пристроями УНС-С рекомендується розміщувати в донній частині заряду свердловини. Хвилевід системи не має бічного енерговиділення, тому вигорання свердловинного заряду або зниження його чутливості, що виникає при використанні детонуючого шнура, фактично виключається.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 57</i>

При веденні вибухових робіт в складних умовах (велика група свердловин, обводненість, використання низькочутливих ВР в свердловинних зарядах) здійснюється дублювання вибухової мережі. В свердловині розміщують два бойовики: перший – в донній частині заряду ВР, другий – в верхній частині. Для забезпечення "донного" ініціювання при дублюванні час уповільнення пристрою, який розміщений в верхній частині свердловини, має бути на один ступінь більше, ніж час уповільнення пристрою, який розміщений в донній частині свердловини. Ініціювання основного і дублюючого пристроїв УНС-С проводиться від одного пристрою УНС-ПА або УНС-П. Можна розміщувати в свердловині два бойовики з одним часом уповільнення пристроїв УНС-С. При цьому, щоб уникнути верхнього (прямого) ініціювання, верхній пристрій УНС-С під'єднується до замка пристрою УНС-ПА або УНС-П, який ініціює пізніше, ніж пристрій УНС-ПА або УНС-П, до якого приєднано нижній пристрій УНС-С. Стартовий пристрій УНС-ПА або УНС-П ініціюється від детонуючого шнура або ектродетонатора, капсуля-детонатора, пускового пристрою. Для виключення можливості пошкодження хвилеводу стартового пристрою осколками КД і ЕД останні мають накриватися картоном, щільним папером, ґрунтом і т.п.

Загальні правила монтажу системи "Імпульс" на земній поверхні наступні:

- довжина хвилеводу пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С має вибиратися у відповідності з глибиною свердловин і розмірів сітки буріння з урахуванням того, що частина довжини хвилеводу використовується для з'єднань;

- пристрої УНС-ПА або УНС-П і УНС-С з пошкодженими хвилеводами до використання не допускаються;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 58</i>

- контроль усередині уповільнень свердловин має проводитися безпосередньо при заряджанні свердловин, оскільки в процесі заряджання маркування може бути пошкоджене;

- хвилеводи пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С мають бути злегка натягнуті;

- з'єднувачі пристроїв УНС-П і УНС-ПА мають розташовуватися поблизу від свердловин, довжина активної частини хвилеводу (відрізок від місця ініціювання до капсуля-детонатора) повинна бути не менше 600 мм. Довжина пасивної частини хвилеводу (відрізок від місця ініціювання до вільного кінця) має бути не менше 80 мм;

- при використанні у поверхневій вибуховій мережі детонуючого шнура хвилеводи мають торкатися його тільки в місці ініціювання. З'єднання має здійснюватися за допомогою з'єднувача. При ініціюванні від детонуючого шнура хвилеводи стартових пристроїв УНС-П або УНС-ПА допускається з'єднувати у накладку;

- місце з'єднання хвилеводів, які ініціюють від стартових пристроїв з електродетонатором або капсулем-детонатором, необхідно прикривати шматком щільного паперу або картону, присипати піском або ґрунтом, прикопувати і т. п.

Завдання:

На основі вихідних даних (таблиця 8.1) спроектувати та побудувати схему ініціювання неелектричної мережі. На схемі показати виходи, для підключення мережі. Схему виконати на форматах стандартних розмір з рамкою основного напису 55 мм та з дотриманням стандартних масштабів у відповідності до ГОСТ 2.302-68 ЕСКД. «Масштаби». Основну частину креслення (уступ, свердловини, пристрої УНС та ін.) виконати чорним кольором, а систему хвилеводів відокремити кольором (синім, зеленим, або червоним). Окрім цього, позначити послідовність ініціювання рядів та підписати сповільнення на кожному з рядів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 59

Вихідні дані

Таблиця 4.1

Вихідні дані для виконання завдання

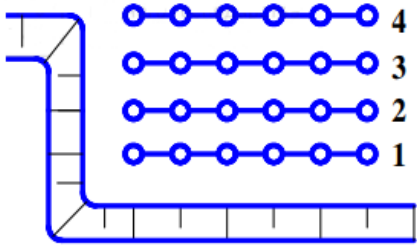
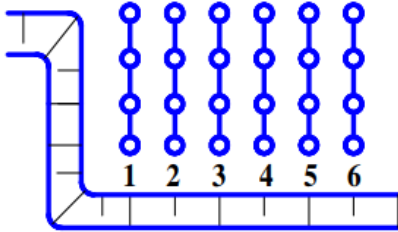
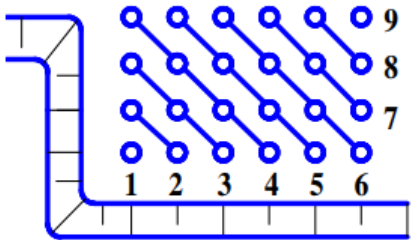
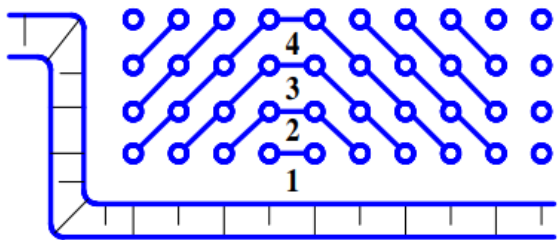
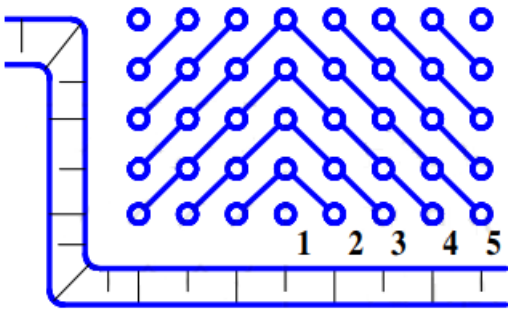
Варіант	Спосіб позиціонування мережі	Кількість рядів свердловин	Кількість свердловин в одному ряді	Відстань між рядами свердловин	Відстань між свердловинами в ряду	Тип пристрою	Необхідне сповільнення, мс
1	Рядова поперечна	3	19	5,0	5,8	УНС-П-15	15
2	Рядова повздовжня	5	19	5,8	5,8	УНС-П-25	25
3	Діагональна	5	12	8,5	10,0	УНС-П-40	40
4	Трапецієвидна	4	19	12,2	12,2	УНС-П-65	65
5	Клинова	5	19	9,3	10,9	УНС-П-105	105
6	Зигзагоподібна	3	10	5,5	5,5	УНС-ПА-15	15
7	Обернена клинова	5	17	7,7	9,1	УНС-ПА-25	25
8	Обернена трапецієвидна	3	10	17,8	17,8	УНС-ПА-40	40
9	Рядова поперечна	3	17	5,1	6,0	УНС-ПА-65	65
10	Рядова повздовжня	5	15	12,4	12,4	УНС-ПА-105	105
11	Діагональна	3	19	5,9	7,0	УНС-П-15	15
12	Трапецієвидна	5	12	13,2	13,2	УНС-П-25	25
13	Клинова	5	17	10,4	12,2	УНС-П-40	40
14	Зигзагоподібна	3	14	7,4	7,4	УНС-П-65	65
15	Обернена клинова	3	12	4,1	4,8	УНС-П-105	105
16	Обернена трапецієвидна	5	14	13,3	13,3	УНС-П-40	40
17	Рядова поперечна	4	20	3,7	4,3	УНС-ПА-15	15
18	Рядова повздовжня	3	14	13,2	13,2	УНС-П-15	15
19	Діагональна	4	20	11,9	14,0	УНС-П-25	25
20	Трапецієвидна	4	15	12,5	12,5	УНС-ПА-40	40

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 60

Додаткові дані для виконання завдання

Таблиця 4.2

Перелік способів позиціонування мережі відносно сітки свердловин

№ з/п	Тип мережі	Назва
1		Рядна поперечна
2		Рядна повздовжня
3		Діагональна
4		Трапецієвидна
5		Клинова

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 61

Продовження таблиці 4.2

№ з/п	Тип мережі	Назва
6		Зигзагоподібна
7		Обернена клинова
8		Обернена трапецієвидна

Таблиця 4.3

Технічні характеристики сповільнюючих пристроїв УНС-П та УНС-ПА

Тип пристрою	Номинальний час уповільнення, мс	Середньо квадратичне відхилення від номінального значення, мс не більше	Граничні значенні часу уповільнення, мс	Колір маркування капсуля детонатора і з'єднувача
УНС-П-0	0	–	0,1–3,0	білий
УНС-П-15	15	2,0	11–19	блакитний
УНС-П-25	25	2,5	20–30	жовтий
УНС-П-40	40	3,5	33–47	червоний
УНС-П-65	65	4,5	56–74	зелений
УНС-П-105	105	5,0	95–115	чорний
УНС-П-150	150	6,5	137–163	сірий
УНС-П-200	200	8,0	184–216	помаранчевий

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 62

Продовження таблиці 4.3

Тип пристрою	Номинальний час уповільнення, мс	Середньо квадратичне відхилення від номінального значення, мс не більше	Граничні значенні часу уповільнення, мс	Колір маркування капсюля детонатора і з'єднувача
УНС-ПА-0	0	–	0,1–3	білий
УНС-ПА-15	15	2,0	11–19	блакитний
УНС-ПА-25	25	2,5	20–30	жовтий
УНС-ПА-40	40	3,5	33–47	червоний
УНС-ПА-65	65	4,5	56–74	зелений
УНС-ПА-105	105	5,0	95–115	чорний
УНС-ПА-150	150	6,5	137–163	сірий
УНС-ПА-200	200	8,0	184–216	помаранчевий

Приклад виконання завдання

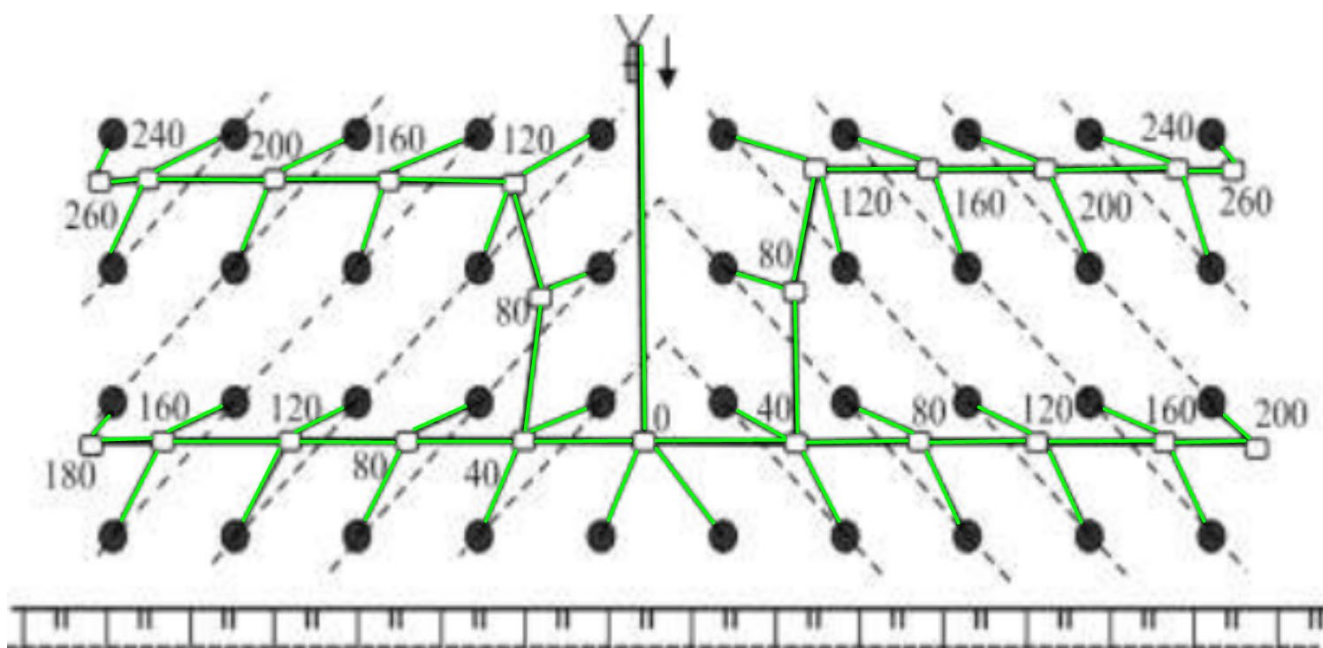


Рисунок 4.1. Приклад схеми ініціювання неелектричною системою Імпульс

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 63

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Кравець В.Г. Руйнування гірських порід вибухом : навч. посібник / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, О.А. Зубченко. Житомир : ЖДТУ, 2012. 328 с.
2. Руйнування гірських порід і промислова сейсміка [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.В. Коробійчук, В.Г. Кравець, В.В. Бойко, В.В. Вапнічна, С.І. Башинський.. Електронні текстові дані (1 файл: 16,52 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 400 с.
3. Закусило Р. В., Кравець В. Г., Коробійчук В. В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія. Житомир : ЖДТУ, 2011. 212 с.
4. Кравець В. Г., Коробійчук В. В., Бойко В. В. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія. Житомир : ЖДТУ, 2015. 408 с.
5. Коробійчук В.В., Соколовський В.О., Іськов С.С. Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт : підручник. Житомир : ЖДТУ, 2019. 342 с.
6. Коробійчук В.В. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт з предмету "Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт" для студентів спеціальності 184 Гірництво. Житомир: РВВ Житомирська політехніка, 2020. 42 с.
7. Коробійчук В.В. Методичні рекомендації для теоретичного та самостійного вивчення дисципліни здобувачів вищої освіти з навчальної дисципліни «Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 184 Гірництво. Житомир : Житомирська політехніка, 2021. – 15 с.
8. Бакка М.Т., Кузьменко О.Х., Сачков Л.С. Видобування природного каменю. Част. 2: Навч. посібник. К. : ІСДО, 1994. 448 с.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/4/184.00.1/Б/ОК16- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 64</i>

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Бібліотечно-інформаційний ресурс (книжковий фонд, періодика, фонди на електронних носіях тощо) бібліотеки Житомирської політехніки.
<https://lib.ztu.edu.ua/>
2. Житомирської обласної універсальної наукової бібліотеки ім. Олега Ольжича (<http://www.lib.zt.ua/>, 10014, м. Житомир, Новий бульвар, (0412) 37-84-33).
3. Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського (<http://www.nbuv.gov.ua/>, Київ, просп. 40-річчя Жовтня, 3 +380 (44) 52581-04) та інших бібліотек .