

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Кафедра електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання індивідуальної роботи з дисципліни
**«Проблеми вибухозахисту рудникового
електрообладнання»**

для студентів спеціальності
131 Галузеве машинобудування

усіх форм навчання

Луцьк, 2023

УДК 621.316

Методичні рекомендації до виконання індивідуальної роботи з дисципліни «Проблеми вибухозахисту рудникового електрообладнання», для студентів, спеціальності 131 Галузеве машинобудування, усіх форм навчання / Укладач: Едуард НЄМЦЕВ – Луцьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2023. – 49 с.

У методичних рекомендаціях викладено загальні положення та тематичний зміст індивідуальних робіт з дисципліни «Проблеми вибухозахисту рудникового електрообладнання». Методичні рекомендації містять вимоги щодо виконання індивідуальних робіт з навчальної дисципліни, інформацію та методичні вказівки для виконання поставлених завдань.

Укладач:

Едуард НЄМЦЕВ, старший викладач кафедри електричної інженерії ДВНЗ ДонНТУ

Рецензент: Валерій КАЛИНИЧЕНКО, к.т.н., доц., завідувач кафедри прикладної механіки ДВНЗ ДонНТУ

Відповідальний за випуск: Олександр КОЛЛАРОВ, к.т.н., доц., завідувач кафедри електричної інженерії ДВНЗ ДонНТУ

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,

протокол №__ від _____ р.

Розглянуто на засіданні кафедри електричної інженерії

протокол №__ від _____ р.

ДВНЗ ДонНТУ, 2023

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	4
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА РУДНИКОВОЇ АТМОСФЕРИ. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОНЯТТЯ ВИБУХОЗАХИСТУ	7
ВАРІАНТИ ДО ЗАВДАННЯ 1.	9
2 ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ ПРИ ГОРІННІ ТА ВИБУХУ В ЗАКРИТОМУ ОБ'ЄМІ	10
ВАРІАНТИ ДО ЗАВДАННЯ 2.	18
3 ВИБУХОБЕЗПЕКА ЗАКРИТИХ ОБОЛОНОК У РЕЖИМАХ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	19
3.1 Дослідження безпечних характеристик замкнених оболонок гірничого електричного обладнання при дуговому короткому замиканні	19
3.2 Ефективність щільного вибухозахисту в режимі дугового короткого замикання	21
ВАРІАНТИ ДО ЗАВДАННЯ 3	31
4 ВИДИ ВИБУХОЗАХИСТУ РУДНИКОВОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	32
4.1 Загальні відомості про рудникове електричне обладнання	32
4.2 «Пострадянські» позначення рудникового електроустаткування за рівнем вибухозахисту	33
4.3 «Сучасні» позначення рудникового електроустаткування за рівнем вибухозахисту, приведене до норм Міжнародної електротехнічної комісії	35
ВАРІАНТИ ДО ЗАВДАННЯ 4	47
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48
ДОДАТОК А. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА	49

ВСТУП

Задача захисту персоналу та мінімізації фінансових втрат від потенційних аварійних ситуацій, що виникають через порушення вибухозахисту електричного обладнання, вимагає постійної уваги до його роботи, обслуговування та забезпечення вибухобезпеки.

Аналіз та розв'язання технічних проблем, що стосуються пожежної та вибухової безпеки енергетичних об'єктів є надзвичайно актуальним з огляду на достатньо високе число вибухів та пожеж на видобувних підприємствах. Згідно статистичних досліджень близько 80% усіх аварійних ситуацій на гірничих підприємствах викликаються пожежами або вибухами.

Розширення знань та наукового розуміння механізмів взаємодії та розвитку процесів горіння, а також здійснення розрахунків і визначення принципів застосування вибухозахищеного обладнання є необхідними навичками інженерів для забезпечення безпечної експлуатації рудникового електричного обладнання у потенційно вибухонебезпечних середовищах

Важливим технічним завданням також є розробка здатності оцінити потенційні ефекти для конкретного технічного об'єкта та запровадити відповідні заходи для запобігання негативних наслідків.

Наведений теоретичний матеріал дозволить розвинути здібності та навички при виконанні інженерних розрахунків для оцінки вибухозахищеності електричного обладнання, що працює в потенційно-небезпечному середовищі, що може містити вибухонебезпечні суміші.

Отримані студентами знання дозволить з більшою ефективністю виконувати реальні проектні завдання та розширити коло навчальних знань.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Індивідуальні завдання відповідають змісту дисципліни, що вивчається.

Номер варіанта за замовчуванням обирається згідно порядкового номера студента у «Журналі обліку контролю навчально-виховної роботи» або визначається викладачем дисципліни.

При виконанні індивідуального завдання обов'язковою умовою є опанування відповідного теоретичного матеріалу, підкріпленого виконанням практичних робіт, передбачених робочим планом. Вихідні дані для виконання завдання наведено в кінці кожного розділу даних методичних вказівок.

Для виконання індивідуального завдання необхідно використання комп'ютерної техніки і редактора Microsoft Word.

Для здачі індивідуального завдання для реєстрації та перевірки, усі окремі завдання необхідно роздрукувати на аркушах формату А4. У разі дистанційного навчання виконана робота надсилається викладачу у відповідній команді Teams або на його корпоративну пошту.

Першою сторінкою індивідуального завдання є титульний лист (Додаток А). Усі сторінки завдання, окрім першої, повинні бути пронумеровані (при очному навчанні – скріплені перед задачею для реєстрації).

Кожне завдання необхідно починати з нової сторінки та повинно мати відповідний номер.

Робота, яку оформлено не у відповідності до зазначених вимог, на перевірку не приймається. Якщо робота виконана не вірно або в роботі є помилки вона повертається на доопрацювання.

Максимальна кількість балів, отриманих за виконання індивідуального завдання, визначається робочою програмою дисципліни і складає 16 балів, які розподіляються рівномірно між усіма чотирма завданнями – по 4 бали за кожне.

Розподіл балів має наступний характер:

- «4 бали» – оцінюються завдання, зміст яких повністю відповідає поставленим завданням,
- «3 бали» – оцінюються завдання, зміст яких містить неточності виконання, мають помилки оформлення,
- «2 бали» – оцінюються завдання, зміст яких містить критичні неточності виконання, не містять окремих елементів оформлення,
- «1 бал» – оцінюються завдання, зміст яких містить грубі неточності виконання, відсутнє визначене завданням оформлення.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РУДНИКОВОЇ АТМОСФЕРИ. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОНЯТТЯ ВИБУХОЗАХИСТУ

Рудникова атмосфера характеризується наявністю вугільного пилу та газу метану, крім того, може містити ненасичені та граничні вуглеводні – етан, пропан, етилен, вуглекислий газ, азот, оксид вуглецю, сірководень, сірчистий газ, водень та інші. Природний газ, що виділяється з гірничих порід у рудникову атмосферу, зазвичай містить 1–4% важких вуглеводів, 80–83% метану, 9–10% азоту, 4–5% вуглекислого газу та 0,5–1% інших газів [1].

Вугільний пил на гірничих підприємствах формується переважно в процесі роботи механізмів і машин, при транспортуванні видобутої корисної копалини (вугілля), а також під час проведення вибухових робіт. Вибухонебезпечність вугільного пилу зазвичай оцінюється вмістом у вугіллі продуктів газифікації летких речовин, що утворюються при нагріванні вугілля без доступу кисню при температурі 850 °C [1].

Гірничі підприємства, що видобувають калійні руди, входять до числа небезпечних з точки зору газових викидів: у їхній атмосфері виявляється метан і водень.

До газонебезпечних відносять також озокеритові та нафтові шахти, в яких метан та інші граничні та неграничні вуглеводи, особливо пари бензину, становлять значну загрозу.

Шахти з видобутку сірки відносяться до небезпечних за рахунок пилу, їхні атмосфери насичені вискоєксплозійними аерозолями сірки. Їхня вибухова небезпека збільшується через присутність у повітрі метану та легкозаймистого сірководню. Шахти з видобутку інших сульфідних руд та колчеданів є менш небезпечними з точки зору підземних пилових вибухів, ніж сірчані шахти.

Вибухостійкість – це здатності витримати тиск вибуху всередині оболонки без пошкоджень та небезпечних деформацій [2].

Вибухонепроникність – це здатність утримувати продукти вибуху всередині оболонки без їх проникнення у навколишнє середовище через сполучення елементів оболонки з ймовірністю не більше 10^{-8} у нормальному режимі роботи і 10^{-4} у режимі дугового короткого замикання. [2]

Механічна міцність – це здатність витримати удари, обвалення покрівлі та інші механічні впливи, що не призводять до порушення вибухозахисних властивостей оболонки [2].

Відмова – невиконання електрообладнанням або його компонентами функцій у частині забезпечення вибухозахисту і можуть полягати у наступному [2]:

- ушкодження однієї або кількох складових частин електричного обладнання або його компонентів,
- зовнішні впливи (наприклад, вплив електромагнітних полів, механічні впливи, удари, вібрація),
- помилка, допущена при проектуванні, або дефект, допущений при виготовленні,
- місцеві завади та збурення (наприклад, від порушення роботи джерела або інженерних систем),
- втрата контролю з боку оператора або помилки в роботі обслуговуючого персоналу.

Очікувана відмова – порушення в роботі електричного обладнання, тобто настання події з що мають високим ступенем настання і які на практиці трапляються досить часто [2].

ВАРІАНТИ ДО ЗАВДАННЯ 1.

Розкрити зміст теоретичних питань (об'єм матеріалу – 4-8 сторінок друкованого тексту, оформленого згідно до вимог).

№ варіанта	Тема/теоретичне питання
1	Пожежна небезпека електричного струму.
2	Типові причини пожеж від електроустановок та протипожежні заходи.
3	Класи пожежо- та вибухонебезпечних зон.
4	Класифікація пожежозахищеного електрообладнання та його маркування
5	Забезпечення пожежної безпеки електричних мереж на етапах проектування монтажу та експлуатації
6	Причини пожежонебезпечних відмов і загорянь в електротехнічних пристроях
7	Нормативна і аналітична оцінка класів вибухо- і пожежонебезпечних зон підприємств
8	Класифікація вибухонебезпечних сумішей за групами та категоріями
9	Особливості вибору, монтажу, експлуатації та ремонту вибухозахищеного електрообладнання
10	Контроль за протипожежним станом електроустановок

2 ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ ПРИ ГОРІННІ ТА ВИБУХУ В ЗАКРИТОМУ ОБ'ЄМІ

Присутність у рудниковій атмосфері пилу та горючих газів викликає ризик пилових та газових вибухів. Вибух може відбутися внаслідок контакту з іскрами, вогнем або іншими джерелами тепла. Крім того, вибухові процеси на гірничих підприємствах також можуть зумовити вплив гарячих твердих та газоподібних продуктів вибуху, нагрітих металевих шлаків з електродетонаторів та уламків, а також ударних повітряних хвиль на вибухонебезпечне середовище [1].

Вибух горючої суміші в закритому просторі можна розглядати як ізохорний процес, у ході якого відбувається реакція горіння при сталому об'ємі.

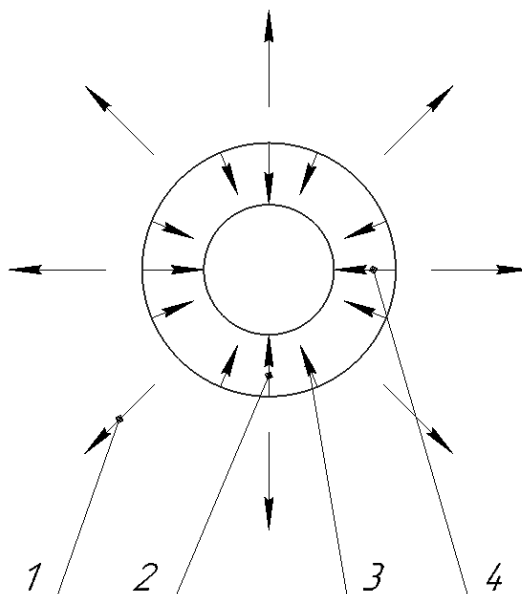
При ініціюванні горіння суміші від джерела формується полум'я сферичної форми, яке розповсюджується від центру вибуху до периферії. Умови цього розширення постійно змінюються через [1]:

- розширення продуктів горіння,
- зміну швидкості переміщення вибухової хвилі перед лінією полум'я,
- відмінність з температурою ще незайнятої вибухонебезпечної суміші,
- стискання незайнятої вибухонебезпечної суміші.

На початковій стадії процесу вибуху вибухонебезпечної суміші, до третини радіуса горіння відбувається при стабільному значенні тиску (так зване «тихе» розповсюдження полум'я).

У процесі розповсюдження полум'я кожен шар вибухонебезпечної суміші проходить крізь зону горіння полум'я, викликаючи певний надлишковий тиск. Кожен з шарів вибухонебезпечної суміші в ході розширення виштовхує вперед лінію полум'я і одночасно відштовхує

всередину вибухової сфери сусідній внутрішній шар суміші. Тобто, тиск діє двонаправлено: витісняє фронт полум'я на зовні та стискає утворені в процесі горіння продукти, формуючи концентричні кільця, що набувають більш правильної форми зі зростанням швидкості горіння та зі зменшенням процесу конвекції.



1 – газ і тепло, що виходять з поверхні горіння, 2 – напрямок фронту полум'я, 3 – рух тепла від поверхні горіння, що підвищує температуру наступного шару до температури його займання, 4 – напрямок лінійної швидкості горіння

Рисунок 2.1 – Процес горіння – розширення «кулі» вибуху у закритому просторі

Коли фронт полум'я вибуху наближається до обмежуючої оболонки електричного обладнання, внутрішній тиск збільшується до певного кінцевого значення P_k . Продукти горіння у центрі оболонки стискаються до високих значень і їх температура за значенням стає вищою у порівнянні з температурою біля стінки оболонки обладнання, що викликає температурний градієнт. Дане явище викликає світіння продуктів горіння в центрі оболонки, яскравість якого залежить від температури.

Тиск під час горіння вибухонебезпечної суміші у замкненій оболонці електричного обладнання (без втрат тепла) розраховується за формулою:

$$P_{об.} = \frac{m}{n} \cdot \frac{T_z}{T_0} \cdot P_0 \quad (2.1)$$

де m – число молекул суміші після вибуху,

n – число молекул суміші до вибуху,

T_z – температура горіння, К,

T_0 – початкова температура суміші, К,

P_0 – початкове значення тиску, Па,

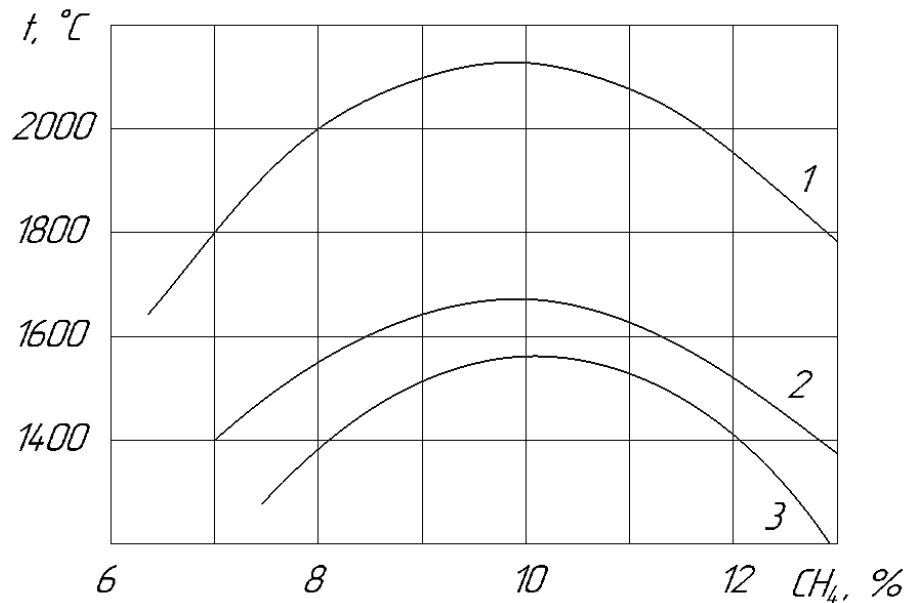
Реакція горіння метану стехіометричного складу має вигляд:



Враховуючи максимальне значення температури горіння $T_z = 2316$ К, прийнявши початкову температуру суміші $T_0 = 293$ К, зважаючи, що число молекул суміші до та після вибуху, не змінюється (закрита оболонка) $m = n = 11$, початкове значення тиску $P_0 = 10^5$ Па, максимальний тиск, що може виникнути під час вибуху вибухонебезпечної суміші всередині замкненої оболонки, складе:

$$P_{max} = \frac{11}{11} \cdot \frac{2318}{293} \cdot 10^5 = 7,91 \cdot 10^5 \text{ Па.} \quad (2.3)$$

На рис. 2.2 наведено залежність температури вибуху в сферичній оболонці об'ємом 5 л у залежності від концентрації газу-метану.



- 1 – при герметизації оболонки і запалювання суміші за 20 мм від стінки,
 2 – за зазору між півсферами 1 мм і запалюванням в центрі оболонки,
 3 – при зазорі 1 мм і запалюванні за 20 мм від щілини

Рисунок 2.2 – Залежність температури продуктів вибуху всередині оболонки від концентрації газу-метану в суміші

Тиск всередині оболонки зростає пропорційно температурі горіння суміші та залежить від значення початкового тиску та в загальному випадку залежить від [1]:

- складу вибухонебезпечної суміші,
- розташування джерела запалювання відносно геометричного центру оболонки електричного обладнання,
- просторова форма і конструкція оболонки.

З термодинамічної точки зору процес вибуху в закритій оболонці можна розглядати як такий, при якому відсутні втрати тепла та при постійному об'ємі, і що дорівнює зміні внутрішньої енергії всередині оболонки електричного обладнання:

$$C_V \cdot (T - T_0) = q \cdot (C_0 - C) \quad (2.4)$$

де C_V – теплоємність газів при постійному об’ємі, Дж/(кг·К). Оскільки в більшості випадків у якості вибухового компоненту виступає газ-метан, у розрахунках приймають значення, наведені у табл. 2.1

T – кінцева температура, К,

q – кількість тепла, що виділяється при хімічній реакції,

C_0 – початкова концентрація вибухонебезпечної суміші, %,

C – вміст горючої складової у вибухонебезпечній суміші, %.

Таблиця 2.1 – Середня масова теплоємність метану (CH_4) при постійному об’ємі

T, K	273	373	473	573	673	773	873
$C_V,$ Дж/(кг·К)	1,647	1,931	2,289	2,658	3,012	3,338	3,635

продовження табл. 2.1

T, K	973	1073	1173	1273	1373	1473	1573	1673
$C_V,$ Дж/(кг·К)	3,904	4,142	4,355	4,544	4,709	4,85	5,003	5,324

Максимальна температура горіння T_z у замкненому об’ємі розвивається при повному згорянні горючої складової вибухонебезпечної суміші, тобто коли $C = 0$. Отже, вміст горючої складової у вибухонебезпечній суміші можна визначити за залежністю:

$$C = C_0 \cdot \left| \frac{T_z - T}{T_z - T_0} \right| \quad (2.5)$$

Кількість тепла, що виділяється при хімічній реакції, Дж:

$$q = \frac{C_V \cdot (T - T_0)}{(C_0 - C)} \quad (2.6)$$

У вибухонебезпечній суміші пальне згорає повністю, що всередині замкненого об'єму призводить до досягнення максимального значення температури.

Тиск під час вибуху вибухонебезпечної суміші всередині замкненої оболонки з урахуванням термодинамічних процесів можна визначити за залежністю:

$$P_{e.o.} = P_0 \cdot \left[1 + \frac{q}{C \cdot T_0} \cdot (C_0 - C) \right] \quad (2.6)$$

У реальності процес горіння суміші відбувається в нерівномірному за складом середовищі, що пояснюється варіюванням концентрації горючої суміші в закритому об'ємі. Нерівномірність складу суміші в закритому просторі може викликати нерівномірність розподілу температури по об'єму, а отже і на значення тиску. Для спрощення опису процесів при вибуху вибухонебезпечної суміші, отримані параметри визначаються середньостатистичними значеннями та не враховується вплив нестабільності суміші.

Приклад 2.1.

Вихідні дані: кінцева температури горіння $T_c = 2000$ К, початкова температуру суміші $T_0 = 313$ К, кінцева температура $T = 550$ К, число молекул суміші до та після вибуху, не змінюється (закрита оболонка), початкове значення тиску $P_0 = 10^5$ Па, початкова концентрація вибухонебезпечної суміші $C_0 = 25\%$.

Завдання: розрахувати тиск всередині замкненої оболонки електричного обладнання (без втрат тепла):

- 1) під час горіння вибухонебезпечної суміші,
- 2) під час вибуху вибухонебезпечної суміші.

Розв'язання.

1) Тиск у оболонці електричного обладнання під час горіння вибухонебезпечної суміші (без втрат тепла):

$$P_{об.} = \frac{T_z}{T_0} \cdot P_0 = \frac{2000}{313} \cdot 10^5 = 6,39 \cdot 10^5 \text{ Па} = 0,639 \text{ МПа}$$

Вміст горючої складової у вибухонебезпечній суміші:

$$C = C_0 \cdot \left| \frac{T_z - T}{T_z - T_0} \right| = 25 \cdot \left| \frac{313 - 500}{2000 - 313} \right| = 2,77\%$$

Середню масову теплоємність метану при постійному об'ємі у діапазоні температур від 313 до 550 К знаходимо як середнє значення у заданому діапазоні, попередньо здійснивши інтерполяцію до найближчих до вихідних значень температур з табл. 2.1:

$$C_V(313K) = \frac{313 \cdot 1,647}{273} = 1,888 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$C_V(550K) = \frac{550 \cdot 2,289}{573} = 2,197 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$C_V \Big|_{313K}^{550K} = \frac{1,888 + 2,197}{2} = 2,043 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

Кількість тепла, що виділяється при хімічній реакції, Дж:

$$q = \frac{C_V \cdot (T - T_0)}{(C_0 - C)} = \frac{2,043 \cdot (500 - 313)}{(25 - 2,77)} = 17,19 \text{ Дж.}$$

2) Тиск всередині замкненої оболонки з урахуванням термодинамічних процесів:

$$\begin{aligned} P_{в.о.} &= P_0 \cdot \left[1 + \frac{q}{C \cdot T_0} \cdot (C_0 - C) \right] = \\ &= 10^5 \cdot \left[1 + \frac{17,19}{2,77 \cdot 313} \cdot (25 - 2,77) \right] = 0,144 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,144 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

ВАРІАНТИ ДО ЗАВДАННЯ 2.

Вихідні дані:

№ варіанта	Кінцева температура горіння, T_z , К	Початкова температура суміші, T_0 , К	Кінцева температура, T , К	Початкове значення тиску, P_0 , Па	Початкова концентрація вибухонебезпечної суміші, C_0 , %.
1	2500	400	700	$2 \cdot 10^5$	70
2	2400	475	700	$2 \cdot 10^5$	65
3	2300	450	600	$2 \cdot 10^5$	50
4	2200	425	600	$2 \cdot 10^5$	45
5	2100	400	550	$2 \cdot 10^5$	40
6	2000	350	550	10^5	35
7	1900	325	500	10^5	30
8	1800	300	500	10^5	25
9	1700	275	400	10^5	20
10	1600	220	400	10^5	15

Завдання: розрахувати тиск всередині замкненої оболонки електричного обладнання (без втрат тепла):

- 1) під час горіння вибухонебезпечної суміші,
- 2) під час вибуху вибухонебезпечної суміші.

3 ВИБУХОБЕЗПЕКА ЗАКРИТИХ ОБОЛОНОК У РЕЖИМАХ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

3.1 Дослідження безпечних характеристик замкнених оболонок гірничого електричного обладнання при дуговому короткому замиканні

Дослідницькі роботи по визначенню безпечних характеристик замкнених оболонок гірничого електричного обладнання при дуговому короткому замиканні були започатковані спеціалістами МакНДІ у 50-і роки ХХ ст. При цьому було визначено фактори, що викликають аварійні ситуації та визначають конструктивні особливості електричного обладнання та унеможливлення запалювання вибухонебезпечного середовища зовні цього обладнання. Особлива увага була приділена потенційній загрозі, що виникає під час дугових коротких замикань та здатності до самозаймання розплавлених металів, які викидаються через вузькі проміжки оболонок електричного обладнання (через фланцеві з'єднання). Практично всі результати були отримані експериментально, шляхом відтворення процесів, що відбуваються в середині оболонок, наповнених швидкодзаймистою метан-повітряною сумішшю, при дугових коротких замиканнях, та супроводжується викидом розжарених і розплавлених частинок металу через щілини фланцевих з'єднань (табл. 3.1) [3].

У роботах було доведено, що під час виникнення міжфазного дугового короткого замикання або плавлення провідника великими струмами в середині вибухобезпечної оболонки, плоскі фланцеві з'єднання із шириною щілини 0,5 мм не забезпечують потрібного рівня безпеки (вірогідність виникнення запалення $P = 10^{-6}$). Зазначене вимагає більш глибокого аналізу факторів, які впливають на безпечні характеристики оболонок гірничого електрообладнання [3].

Таблиця 3.1 – Результати теоретичних досліджень

Об’єм оболонки, л	Довжина щілини, мм	Параметри дуги КЗ			Припустима ширина щілини, мм
		Напруга, кВ	Струм, А	Час горіння, с	
Плоскі фланці					
2,6	25	0,75	2,0	0,20	0,17
2,5	25	0,38	2,0	0,20	0,17
9,2	25	0,38	2,0	0,20	0,20
20,0	25	0,50	5,5	0,06	0,20
25,0	25	0,50	0,8	0,065	0,30
30,0	25	0,50	2,0	0,10	0,22
Лабіринтові фланці					
2,6	38	0,75	2,0	0,20	0,40
9,2	40	0,38	2,0	0,20	0,50
30,0	40	0,50	2,0	0,10	0,55
39,5	56	6,0	10	0,03	0,363
42,0	38	0,75	2,0	0,20	0,38

Різномірність отриманих даних викликає необхідність узагальнення стандартів, що визначають вимоги до конструкції та способів виготовлення вибухостійких оболонок, розширення використання новітніх конструкційних матеріалів та антикорозійних захисних покриттів.

Аналіз результатів досліджень, що визначають припустиму ширину щілини для плоских і лабіринтових з'єднань оболонок з чавуну і сталі, говорить про те, що плоскі фланцеві з'єднання в аварійних режимах можуть забезпечити необхідний рівень безпеки лише при ширині щілини фланців не більш ніж 0,2 мм, а при лабіринтових фланцях цей показник у плоскій частині з'єднання може бути збільшений до 0,5 мм. Допуски при механічній обробці викликають необхідність завдання відхилення від цих показників до $\pm 0,05$ мм для плоских фланців і до $\pm 0,15$ мм для лабіринтових. Підвищення вимог до якості механічної обробки корпусних деталей фланцевих з'єднань і забезпечення цих вимог шляхом використання сучасних станків для шліфування, мікрошліфування та полірування дозволяють забезпечувати ширину щілини в межах 0,1 мм.

3.2 Ефективність щілинного вибухозахисту в режимі дугового короткого замикання

При виникненні в оболонках електричного обладнання потужних дугових коротких замикань основною перешкодою для виходу продуктів вибуху є «робота» щілинного захисту, яка відрізняється від процесу, що відбувається при запаленні суміші іскровим розрядом. Цю відмінність можна пояснити тим, що в режимі дугового короткого замикання відбувається розплавлення та випаровування електричною дугою матеріалу провідників, між якими виникло коротке замикання.

На величину критичного зазору впливають такі фактори як [4]:

- форма фланцевої щілини,
- периметр з'єднання,
- вільний об'єм оболонки,
- довжина шляху виходу розплавлених металевих частинок,
- матеріал електродів і фланців оболонки,
- величина струму короткого замикання,
- час горіння дуги,
- напруга джерела,
- наявність вибухової суміші всередині оболонки.

При формуванні дуги на мідних електродах всередині сталевій оболонки, заповненої метан-повітряною сумішшю, джерелами запалювання вибухонебезпечної суміші ззовні оболонки електричного обладнання можуть бути відкрите полум'я або продукти вибуху, розігріті гази та мідні частки, розпечені дугою та ті, що були викинуті з оболонки назовні під дією електродинамічних сил та надмірного тиску.

При викиді мідних частинок назовні оболонки, частина з них не встигають охолотитися при проході через щілину, оскільки в результаті

окислювальної реакції ці частинки спочатку підвищують свою температуру, а лише потім згораються і є здатними запалити метано-повітряну суміш. Для цього необхідно, щоб мідна частинка на момент її виходу з щілини мала температуру, що перевищує певне критичне значення $T_{кр}$, при якій ініціюється процес окислення мідної частинки з вільним киснем у суміші.

Температура частинки при виході з фланцевої щілини залежить від її температури перед входом у щілину T_0 і ступеня її охолодження в самій щілині. Значення температури T_0 залежить від [4]:

- потужності електричної дуги,
- вільного об'єму оболонки,
- відстані між електродами з КЗ і фланцями,
- від розміру і матеріалу частинки.

Інтенсивність охолодження частинок у фланцевій щілині залежить від багатьох факторів [4]:

- величини зазору,
- довжини (ширини) щілини (L),
- ступеня контактування частинки з поверхнями фланців (форми щілини),
- часу проходження часткою щілини,
- глибини проникнення розпечених дугою газів у фланцеву щілину.

Швидкість проходження частинок через фланцеву щілину залежить від [4]:

- конфігурації щілини (кількості поворотів),
- первинної швидкості частинок,
- значення тиску у оболонці.

Тепловий вплив гарячих газів для плоских прямих фланців при сталій потужності дуги, схоже у залежності від ширини фланця показано на рис. 3.1 [4].

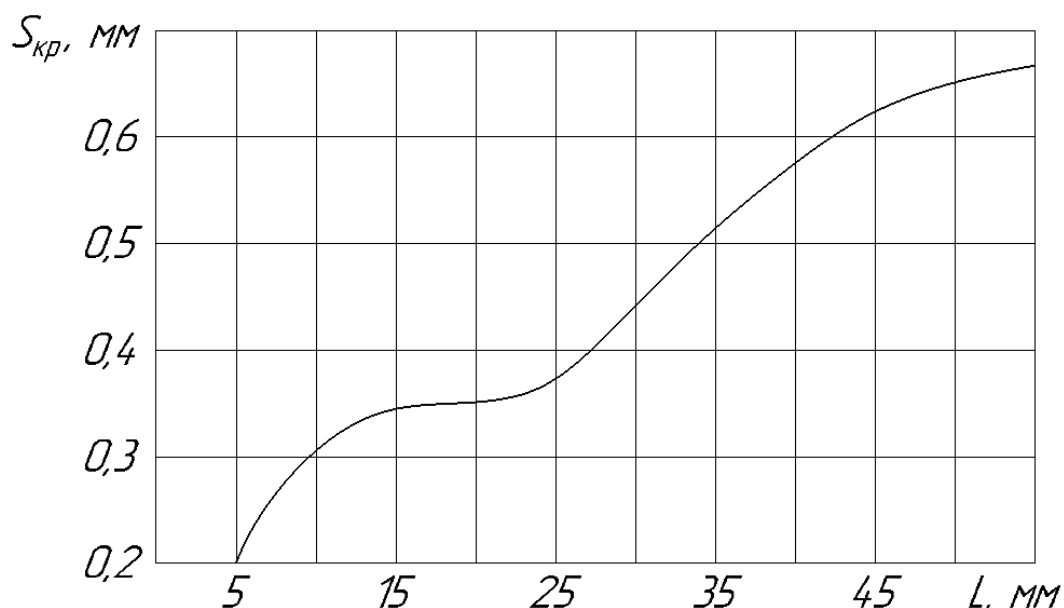
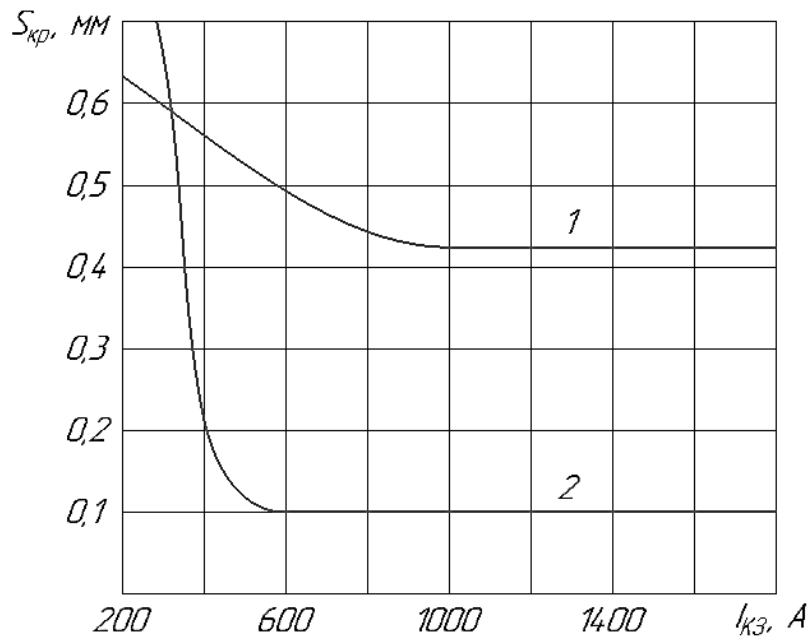


Рисунок 3.1 – Залежність критичної величини зазору ($S_{кр}$) від ширини фланцевого з'єднання (L)

Аналіз графічної залежності говорить про те, що гарячі дугові гази проникають у фланцеву щілину на глибину 20–25 мм – після проходження цієї межі частинки починають інтенсивно охолоджуватися і подальше збільшення ширини фланців з точки зору остигання газів не має суттєвого значення. Отже, найбільш оптимальною можна вважати ширину фланців будь-якої форми на рівні 25–40 мм.

При виникненні дугового розряду між мідними електродами всередині оболонки з алюмінієвого сплаву головним джерелом зовнішнього запалення є частинки алюмінію, що горять у середовищі з нормальним вмістом кисню. Зазначені частинки виникають через «бомбардування» фланців мідними частинками з електричної дуги короткого замикання через те, що температура плавлення алюмінієвих сплавів значно нижча за температуру плавлення міді ($650^{\circ}\text{C} < 1083^{\circ}\text{C}$) – рис. 3.2 [4].



1 – сталеві фланці, 2 – фланці зі сплаву алюмінію

Рисунок 3.2 – Залежність критичної величини зазору ($S_{кр}$) у прямій плоскій щілині від величини струму металевого короткого замикання ($I_{кр}$)

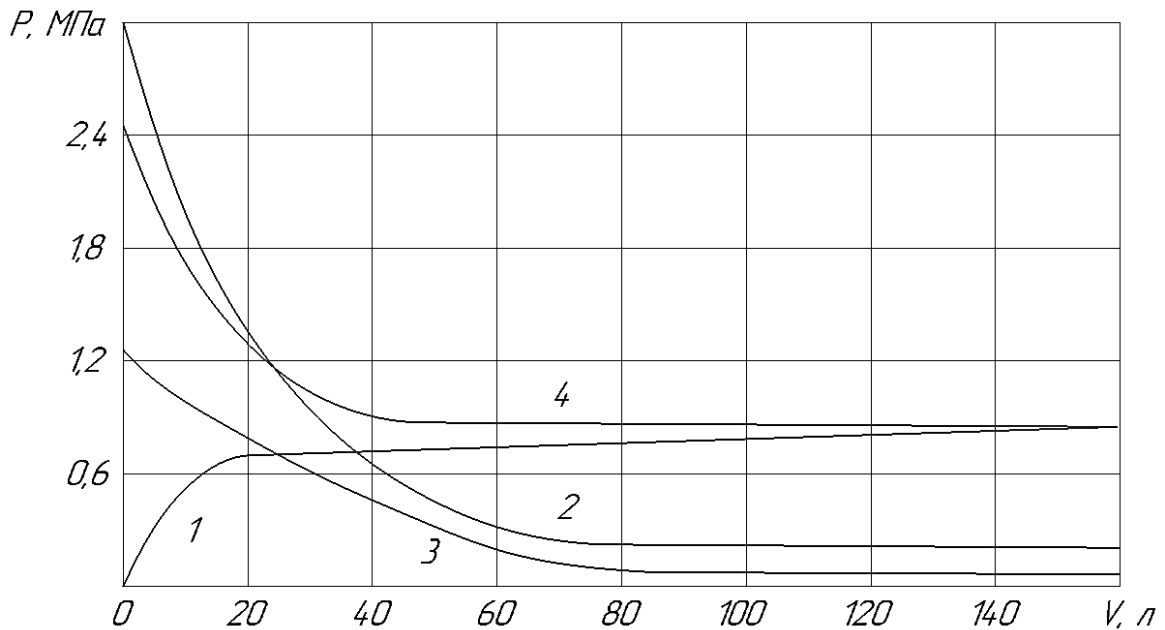
При спалаху вибухонебезпечної суміші від «слабкого» джерела запалювання (наприклад, іскра) тиск у оболонці визначається складом суміші та початковим тиском. Тиск у невеликих об'ємах зменшується через збільшення відносної поверхні охолодження стінок. Це призводить до збільшення величини теплових втрат та зменшення тиску від вибуху в порівнянні зі сферичною оболонкою [4]:

- в кубічних оболонках – на 15%,
- циліндричних оболонках – на 24%,
- прямокутних оболонках – на 29%.

При спалаху вибухонебезпечної суміші від «сильного» джерела запалювання (наприклад, дугове коротке замикання) максимальний тиск вибуху зростає суттєво, що відбувається через підвищення температури газів всередині оболонки.

Полімерні та органічні матеріали (наприклад, ізоляція, конструкційні деталі, пластмаси, епоксидні смоли, антикорозійні покриття та інше) під час горіння і плавлення виділяють пари та горючі гази.

Залежність тиску від об'єму оболонки при запалюванні від різних джерел, наведено на рис. 3.3 (при концентрації метану на рівні 9,8%) [4].



1 – іскрове, 2 – дугове КЗ у оболонці з покриттям емаллю (без наявності газу-метану), 3 – дугове КЗ у оболонці без покриття (без наявності газу-метану), 4 – дугове КЗ у оболонці з покриттям емаллю

Рисунок 3.3 – Залежність тиску від об'єму оболонки при запалюванні від різних джерел

У невеликих об'ємах вибухозахисних оболонок (до 30 л) тепловий потік електричної дуги дорівнює тепловому потоку від згорання вибухової суміші. Тому, в цих оболонках у режимі короткого замикання тиск кілька разів вищий, ніж при запалюванні слабким джерелом запалювання. У великих об'ємах (понад 50 л) тиск практично не залежить від дії дуги під час короткого замикання.

Антикорозійні покриття на внутрішніх поверхнях впливають тільки на тиски, які виникають у невеликих об'ємах оболонок.

Залежно від вільного об'єму оболонок приймають наступні випробувальні тиски [4]:

- при об'ємі до 0,5 л – 0,3 МПа,
- від 0,5 до 2 л – 6 МПа,
- більше 2 л – 0,8 МПа.

Виходячи з цих даних розраховують механічну міцність оболонок.

При визначенні вільного об'єму вибухозахищеної оболонки враховують лише фактичний об'єм повітря всередині зібраних і готових до роботи виробів. Самі оболонки стаціонарного устаткування виготовляють з міцних конструкційних сталей або сірого чавуна, зі значеннями тимчасового опору розриву не менше 15 МПа. Оболонки з вільним об'ємом не більше 2 л, можуть бути виготовлені з міцних пластмас та алюмінієвих сплавів, міцність яких на розрив повинна бути не нижчою за 15 МПа та не призводять до появи фрикційного іскріння. Оглядові вікна в обладнання повинні бути зроблені з прозорих матеріалів, що витримують тиск вибуху.

Мінімальна товщина стінок оболонки встановлюється залежно від матеріалу, умов експлуатації, результатів механічних випробувань та допустимого нагрівання.

При дослідженні вибухостійкості заданої оболонки необхідно виконати наступні кроки:

- виміряти об'єм оболонки (V) та площу кришки,
- розрахувати силу, яка діє на кришку ($F = p \cdot S$) за заданими розрахунковими значеннями тиску, де p – тиск, що розвивається в середині оболонки (Па), S – площа, на яку діє тиск p (м²).
- визначити розривні напруження в кріпленні кришки за умови наявності всіх болтів, а також в разі втрати одного чи двох болтів (для

цього необхідно знати поперечний переріз одного болта та кількість цих болтів),

– визначити коефіцієнт вибухостійкості:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{np}}{\sigma_{\sigma}} \geq 2 \quad (2.1)$$

де σ_{np} – припустиме напруження для матеріалу і конструкції оболонки, $\sigma_{np} = 15$ МПа,

σ_{σ} – напруження в матеріалі оболонки під час вибуху, МПа. Можна прийняти дорівнюючому величині тиску за рис. 3.3 для відповідного випадку.

Після вибуху, полум'я в оболонці, яке проникає через вузькі канали (щілини, фланці, різьблення тощо) може гаснути при певних розмірах цих каналів. Явище гасіння полум'я пов'язане з відводом тепла до стінок каналу. Принцип відводу тепла від полум'я до стінок каналу лежить в основі забезпечення вибухонепроникності оболонок.

Вибухонепроникність характеризується величиною зазору, через який полум'я або розпечені продукти вибуху, виходячи назовні не спричиняють запалення вибухонебезпечної суміші ззовні оболонки електричного обладнання. Геометрія вибухонепроникного зазору визначається висотою (шириною), довжиною, конфігурацією та якістю обробки поверхонь.

Для оболонок, що мають великий внутрішній об'єм та незначний периметр з'єднання викликає несприятливі умови для охолодження розжарених часток і газів при їх проходженні через фланцеву щілину.

Максимально припустима висота (ширина) щілини, що забезпечує вибухонепроникність, розраховується за формулою:

$$h = \frac{S_{кр}}{k_{np}} \quad (2.2)$$

де $S_{кр}$ – критичне значення висоти (ширини) щілини, для якого ймовірність передачі вибуху менше 50%,

k_{np} – коефіцієнт приведення вибухонепроникного з'єднання до єдиного рівня вибухозахисту:

$k_{np} = 2$ – для плоских і циліндричних з'єднань,

$k_{np} = 1,8$ – для плоско-циліндричних з'єднань,

$k_{np} = 1,5$ – для лабіринтних і різбових з'єднань.

Критичне значення висоти (ширини) щілини залежить від довжини проміжку між фланцями на оболонці, що визначається тривалістю контакту продуктів горіння з фланцевими стінками. Отже, регулювання ширини зазору відбувається одночасно з його довжиною.

У результаті вибуху тиск, що утворився всередині оболонки призводить до зростання швидкості руху частинок у фланцевій щілині, і викликає необхідність зменшення ширини зазору.

Для охолодження розжарених частинок алюмінію до прийнятної температури в фланцевому просторі, потрібно, щоб він був ще більш вузьким, ніж у сталевих оболонок, що за наявних методів обробки здійснити майже неможливо. Для зменшення температури зазначених часток необхідно використання специфічних сполучень (рис. 3.4) [4].

Дані сполучення являють собою специфічну форму фланців, іноді мають збільшене або відсторонене число вигинів та западин і тим самим зростає шлях для руху частинок з середини корпусу назовні, що забезпечує їх ефективне охолодження.

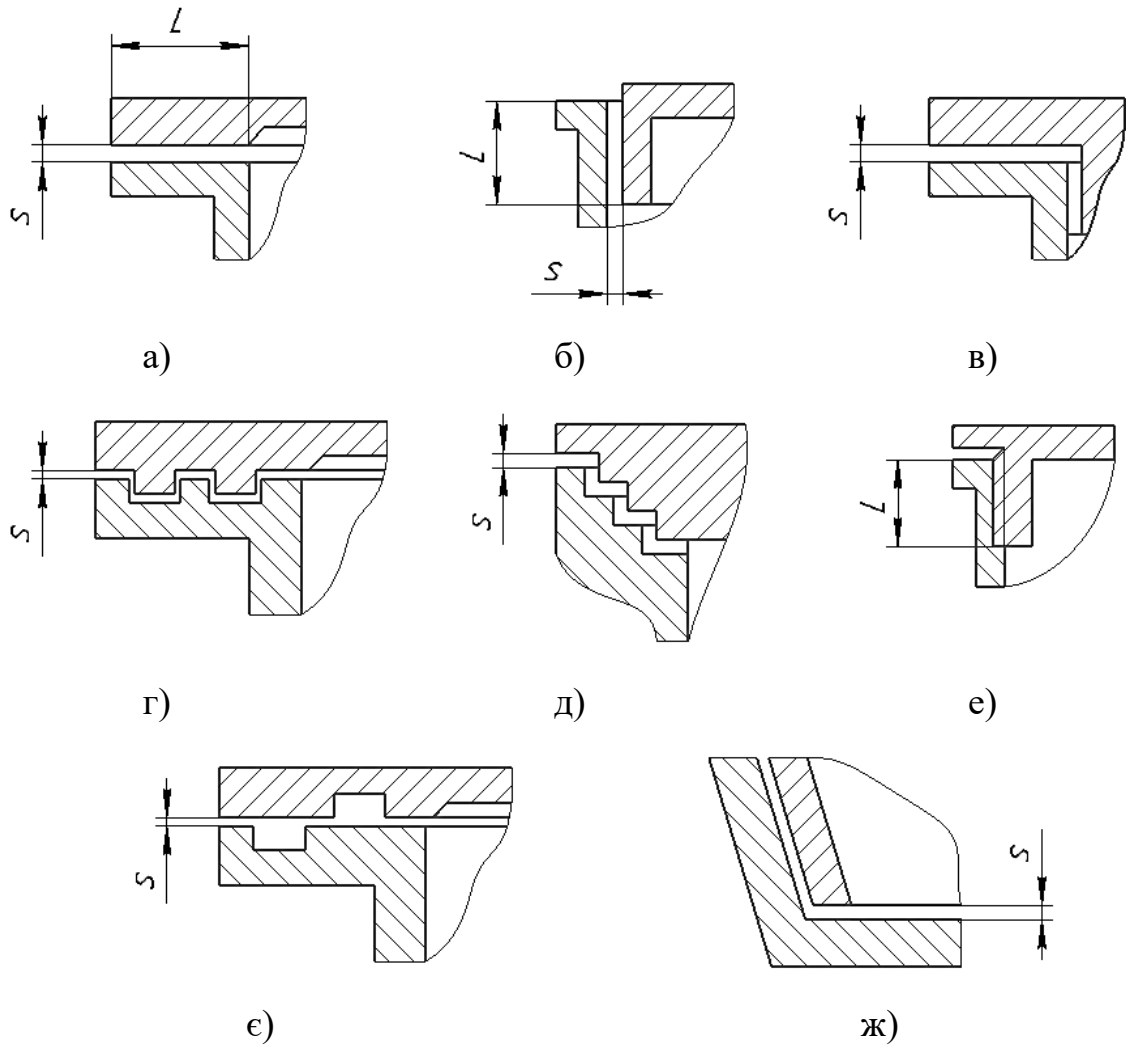


Рисунок 3.4 – Види сполучень окремих частин вибухонепроникного електрообладнання: а) плоське, б) циліндричне, в) плоско-циліндричне, г) лабіринтне, д) лабіринтне багатоступінчасте, е) різьбове, є) бар'єрне, ж) кінцеве

Приклад 3.1

Маємо вибухонепроникну сталеву оболонку з вільним об'ємом $V = 20$ л із внутрішнім емалевим покриттям. Сполучень окремих частин вибухонепроникного електрообладнання – циліндричне. У оболонці виникає дугове КЗ, струм якого дорівнює 400 А.

Визначити:

- 1) коефіцієнт вибухостійкості,
- 2) максимально припустиму висоту (ширину),

3) визначити величину випробувального тиску.

Розв'язання.

1) За рис. 3.3 по кривій 4 (дугове КЗ у оболонці з покриттям емаллю) для значення $V = 20$ л знаходимо величину припустимого тиску: $P = 1,25$ МПа.

Коефіцієнт вибухостійкості:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{np}}{\sigma_{\sigma}} = \frac{15}{1,25} = 12 \geq 2$$

2) Критичне значення висоти (ширини) щілини, для якого ймовірність передачі вибуху менше 50% визначаємо за рис. 3.2 (крива 1, струм 400 А) $S_{кр} = 0,56$ мм.

Для циліндричного з'єднання частин оболонки коефіцієнт приведення $k_{np} = 2$.

Максимально припустима висота (ширина) щілини, що забезпечує вибухонепроникність:

$$h = \frac{S_{кр}}{k_{np}} = \frac{0,56}{2} = 0,28 \text{ мм.}$$

3) Значення випробувального тиску – 0,8 МПа.

ВАРІАНТИ ДО ЗАВДАННЯ 3.

Вихідні дані:

№ варіанта	Вільний об'єм вибухонепроникної оболонки, л	Матеріал вибухонепроникної оболонки	Наявність/тип покриття	Тип сполучення окремих частин вибухонепроникного електрообладнання	Величина струму короткого замикання, А
1	5	сталь	відсутнє	циліндричне	200
2	10	алюміній	емаль	плоско-циліндричне	300
3	15	сталь	емаль	лабіринтне	400
4	20	алюміній	відсутнє	циліндричне	500
5	25	сталь	емаль	плоське	250
6	30	алюміній	емаль	бар'єрне	350
7	35	сталь	відсутнє	різьбове	200
8	40	алюміній	емаль	лабіринтне багатоступінчасте	350
9	1	сталь	відсутнє	плоське	300
10	2	алюміній	відсутнє	циліндричне	350

Визначити:

- 1) коефіцієнт вибухостійкості,
- 2) максимально припустиму висоту (ширину),
- 3) визначити величину випробувального тиску.

4 ВИДИ ВИБУХОЗАХИСТУ РУДНИКОВОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Загальні відомості про рудникове електричне обладнання

У разі, коли конструкцію електричного обладнання виконують без урахування специфічних вимог з боку виробничої галузі, його класифікують як електрообладнання загального призначення. Застосування такого обладнання у вибухонебезпечних середовищах неприпустимо, оскільки іскри або нагрів до небезпечних температур можуть викликати пожежу або вибух. Зазначене вимагає застосування у вибухонебезпечних середовищах спеціального вибухозахищеного електричного обладнання.

У вибухозахищеному електричному обладнанні застосовуються спеціальні конструктивні заходи, що направлені на недопущення запалення навколишнього вибухонебезпечного середовища.

Особливо вибухобезпечне електрообладнання – це електричне обладнання, що має додаткові засоби вибухозахисту.

Вибухобезпечне електричне обладнання забезпечує вибухозахист як у разі нормального режиму роботи обладнання, так і в разі пошкодження, за винятком пошкодження засобів вибухозахисту.

Електрообладнання підвищеної надійності проти вибуху забезпечує вибухозахист тільки в разі нормального режиму роботи обладнання (за відсутності аварій і пошкоджень). Якщо до складу вибухозахищеного електрообладнання входять елементи з різним рівнем вибухозахисту, загальний рівень вибухозахисту встановлюють за елементом, що має найнижчий рівень. У залежності від області застосування, електроустаткування з вибухонепроникною конструкцією поділяють за рівнями та видами вибухозахисту, групами та температурними класами [4].

Рівень вибухозахисту електричного обладнання – це ступінь забезпечення надійності з точки зору вибухозахисту для забезпечення встановлених нормативними документами значеннями. Згідно [5] припустима ймовірність виникнення вибуху повинна бути не більшою за 10^{-6} .

Вид вибухозахисту включає комплекс конструктивних заходів, що дозволяють запобігти запаленню вибухонебезпечного середовища для забезпечення визначеного рівня вибухозахисту.

Ступінь вибухозахищеності електричного устаткування у залежності від рівня та виду вибухозахисту позначається шляхом маркування.

4.2 «Пострадянські» позначення рудникового електроустаткування за рівнем вибухозахисту

За рівнем вибухозахисту рудникове електроустаткування поділяється на наступні категорії:

- рудникове нормальне («РН») – не має засобів вибухозахисту, але відповідає специфічним вимогам роботи гірничого виробництва,
- рудникове підвищеної надійності проти вибуху («е») – вибухозахист забезпечується тільки в нормальному режимі роботи, використовується для електроустаткування без іскрових елементів, що працюють при нормальних умовах,
- рудникове вибухобезпечне («РВ») – вибухозахист забезпечується як в нормальному режимі роботи, так і при аварійних станах (наприклад, дугові короткі замикання), за винятком пошкоджень засобів вибухозахисту,

– рудникове особливовибухобезпечне («РО») – електроустаткування, що має додаткові засоби вибухобезпеки порівняно з конструкцією електроустаткування з рівнем РВ. Прийняті засоби забезпечують вибухобезпеку при будь-яких пошкодженнях, за винятком пошкоджень засобів вибухозахисту.

Класифікація видів вибухозахисту включає:

– «В» – розташування електроустаткування у вибухонепроникній оболонці, які можуть бути розподілені на чотири підгрупи (табл. 4.1),

Таблиця 4.1 – Види вибухонепроникних оболонок електричного устаткування

Підгрупа	Номінальна напруга, В	Сила струму «металевого» КЗ, А
1В	100	не нормується
1В	не нормується	100
2В	від 100 до 220	від 100 до 450
3В	від 220 до 1140	менше 100
4В	більше 1140	менше 100

– «І» – використовуються іскробезпечні електричні кола – розрізняють три рівні виконання іскробезпечних кіл,

– «П» – захист виду «е» – підвищена надійність,

– «М» – масляне заповнення оболонок – у залежності від напруги та струму розрізняють чотири рівні виконання: 1М, 2М, 3М, 4М.

– «К» – кварцове заповнення оболонки – в залежності від струму та наявності екрану існує три рівні виконання: 1К, 2К, 2КЕ,

– «А» – автоматичне захисне відключення,

– «С» – спеціальний вид вибухозахисту.

Таблиця 4.2 – Принципи, на яких базується вибухозахист з використанням різних заходів і засобів

Вид вибухозахисту	Засоби і заходи вибухозахисту
А	Упереджуюче автоматичне відключення
В	Локалізація вибуху в «закритій» оболонці
С	Інгібітування горючих речовин
С	Окислення горючих речовин у оболонці (полум'яне або безполум'яне спалювання)
І	Обмеження енергії іскри у іскробезпечних колах
С, К	Використання сипучих або твердих заповнювачів (кварцевий пісок, компаунди)
М	Використання захисної рідини (синтетичні рідини, трансформаторна олива)
П	Виключення іскріння у струмоведучих частинах

4.3 «Сучасні» позначення рудникового електроустаткування за рівнем вибухозахисту, приведені до норм Міжнародної електротехнічної комісії

Електрообладнання для потенційно вибухонебезпечних середовищ поділяють на такі групи [5]:

– Група *I* – електрообладнання для застосування в шахтах, небезпечних за викидом рудникового газу та вугільного (з одночасним розширенням вимог до механічного захисту при використанні у підземних умовах). Електрообладнання для шахт (рудників), у яких у газовому середовищі, крім рудникового газу, можуть бути домішки інших вибухонебезпечних газів, треба конструювати та випробовувати відповідно

до вимог, висунутих у групі *I*, а також до тієї підгрупи групи *II*, що відповідає іншим горючим газам.

– Група *II* – електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних середовищах, крім шахт (рудників), небезпечних через викидами газу. Електрообладнання групи *II* поділяється на підгрупи відповідно до природи вибухонебезпечного газового середовища, для якого воно призначене:

- підгрупа *IIA* – при наявності пропану,
- підгрупа *IIB* – при наявності етилену,
- підгрупа *IIC* – при наявності водню.

В основу класифікації даних підгруп покладено безпечний експериментальний максимальний зазор (БЕМЗ) для вибухонепроникних оболонок або мінімальний запалювальний струм (МЗС) для енергообмеженого електрообладнання [5].

Електрообладнання з маркуванням *IIB* можна застосовувати в умовах, де використовується електрообладнання групи *IIA*, аналогічно електрообладнання з маркуванням *IIC* допускається до застосування в умовах, де використовується електрообладнання груп *IIA* і *IIB*.

Гранична температура – це найбільша температура поверхонь вибухозахищеного електрообладнання, що є безпечною щодо займання навколишнього вибухонебезпечного середовища.

Електрообладнання групи *II* залежно від значення граничної температури поверхні поділяється на температурні класи, що відповідають групам вибухонебезпечних сумішей (табл. 4.3).

– Група *III* – електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних пилових середовищах (за винятком шахт, небезпечних через вибухи рудникового газу).

Електрообладнання групи *III* поділяють на підгрупи відповідно до природи вибухонебезпечного пилового середовища:

Підгрупи групи *III*:

- підгрупа *IIIA* – при наявності горючих завислих частинок,
- підгрупа *IIIB* – при наявності непровідного пилу,
- підгрупа *IIIC* – при наявності провідного пилу.

Таблиця 4.3 – Температурні класи електрообладнання групи II [5]

Температурний клас електрообладнання	Гранична температура, °C	Група вибухонебезпечної суміші, для якої електрообладнання є вибухозахищеним
<i>T1</i>	450	<i>T1</i>
<i>T2</i>	300	<i>T1, T2</i>
<i>T3</i>	200	<i>T1 – T3</i>
<i>T4</i>	135	<i>T1 – T4</i>
<i>T5</i>	100	<i>T1 – T5</i>
<i>T6</i>	85	<i>T1 – T6</i>

Електрообладнання з маркуванням *IIIB* можна застосовувати в зонах, де застосовується обладнання підгрупи *IIIA*, аналогічно обладнання з маркуванням *IIIC* може бути застосовано в зонах, де застосовується обладнання підгруп *IIIA* і *IIIB*.

У маркуванні обладнання для вибухонебезпечних пилових середовищ максимальну температуру поверхні вказують як значення температури в градусах Цельсія (наприклад, *T 320°C*).

Для визначення можливості використання електричного обладнання в конкретному вибухонебезпечному середовищі, воно може бути випробуване, що відповідним чином позначається у технічній документації, а саме електрообладнання має бути відповідним чином промарковано.

Вид вибухозахисту забезпечує різні рівні вибухозахисту і розрізняють за засобами і заходами забезпечення вибухобезпеки.

За видом вибухозахисту вибухозахищене електрообладнання класифікують на обладнання, що має [5]:

- вибухонепроникну оболонку (**d**). Вибухонепроникна оболонка являє собою міцну закриту конструкцію, що складається з однієї або кількох порожнин та характеризуються наявністю в місцях зчленування елементів (між фланцями) зазорів. Вибухонепроникна оболонка може бути як окремим елементом так і інтегрованою у конструкцію електричного обладнання,

- заповнення або продувка оболонки захисним газом під дією надлишкового тиску (**p**). Струмоведучі частини або частини під напругою, цього електрообладнання вбудовують в оболонку, яка і заповнюється або продувається захисним газом, що знаходиться під надлишковим тиском. У якості захисного газу може бути використаний будь-який негорючий газ (наприклад, азот), що перебуває в оболонці під надлишковим тиском тим самим запобігаючи проникненню ззовні всередину оболонки вибухонебезпечної суміші,

- іскробезпечні електричні ланцюги (**i**). Таке обладнання характеризується тим, що іскри, які виникають під час нормальної роботи або в разі аварійних ситуацій (наприклад, коротке замикання), не здатні запалити вибухонебезпечне середовище. Більш того, вибухобезпека такого обладнання забезпечується такими конструктивними заходами, що не дозволяють порушити цю безпеку ні помилково, ні через недбалість обслуговуючого персоналу. Для оцінки іскробезпеки електричного кола оперують поняттям мінімального займистого та іскробезпечного струму, напруги або потужності,

- кварцове заповнення оболонки зі струмоведучими частинами (**q**). Вибухобезпека забезпечується шляхом використання властивостей кварцового піску: високій електричній міцності, здатність знижувати тиск в оболонці під час вибуху вибухонебезпечної суміші та інші; виключенням

прямого дотику струмоведучих частин до вибухонебезпечного середовища; зменшенням поверхні контакту вибухонебезпечного середовища з електричною дугою та розпеченими металевими частками; утворенням розпеченої склоподібної маси. Товщина захисного шару кварцового піску залежить від значення номінальної напруги, потужності та часу дії дугового короткого замикання,

- масляне заповнення оболонки зі струмоведучими частинами (*o*). Електричні частини обладнання знаходяться під захисним шаром масла (оливи). Мінімальна висота шару охолодженої оливи над будь-якою точкою, де може статися іскріння у струмоведучих частинах, складає 25 мм, що забезпечує умову остигання суміші горючих газів, які виділяються під час іскріння або дугоутворення,

- спеціальний вид вибухозахисту, який визначається особливостями роботи об'єкта (*s*). У даному виді обладнання застосовуються заходи та засоби (залівка компаундом, герметиком та іншими речовинами, що мають електроізоляційні властивості), ефективність яких визначається шляхом випробувань. Даний вид захисту здебільшого використовується для малопотужного електроустаткування, трансформаторів малої потужності, котушок, блоків конденсаторів або опорів та іншого електроустаткування, що не має рухомих частин,

- будь-який інший вид захисту (*e*). В такому електрообладнанні відсутні частини, у яких може виникнути іскріння, та вжиті додаткові заходи, що виключають небезпечний нагрів, застосовуються електроізоляційні матеріали високої якості, стійкі до вологи та хімічно-активних речовин і до накопичення статичної електрики.

Рівень вибухозахисту електрообладнання присвоюють виходячи з ризику виникнення джерела запалювання та розходженням між вибухонебезпечними газовими, пиловими середовищами та середовищами, які можуть бути наявними у вугільних шахтах (рівень вибухозахисту

електрообладнання можна вважати частиною повної оцінки ризику електричної установки [5]:

– **Ma** – електрообладнання, що призначено для застосування у вугільних шахтах, небезпечних за газом і має «дуже високий» рівень вибухозахисту, забезпечує достатній рівень безпеки через зниження ймовірності виникнення джерела займання, навіть якщо воно залишається під напругою під час раптового викиду газу,

– **Mb** – електрообладнання, що призначено для застосування у вугільних шахтах, небезпечних за газом і має «високий» рівень вибухозахисту, забезпечує достатній рівень безпеки завдяки забезпеченню ймовірності впливу джерела займання при нормальному режимі роботи за час між викидом газу та від'єднанням електрообладнання від напруги,

– **Ga** – електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних газових середовищах, що має «дуже високий» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи, протягом очікування відмов або протягом нечастих відмов,

– **Gb** – електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних газових середовищах, має «високий» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи або протягом очікування настання відмови,

– **Gc** – електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних газових середовищах, що має «підвищений» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи та з додатковою гарантією, що воно не стане джерелом займання у випадку постійно очікуваних відмов,

– **Da** – електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних пилових середовищах, що має «дуже високий» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи, або протягом очікування відмов, або протягом нечастих відмов,

– ***Db*** – електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних пилових середовищах, яке має «високий» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи або протягом очікування відмов,

– ***Dc*** – електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних пилових середовищах, яке має «підвищений» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи та з додатковою гарантією, що воно не стане джерелом займання у випадку постійно очікуваних відмов.

Усе вибухозахищене електричне обладнання повинно мати маркування.

Для пов'язаного електрообладнання, призначеного для встановлення у вибухонебезпечній зоні [5]:

– якщо енергообмеження забезпечується всередині нього, символ виду вибухозахисту треба брати у квадратні дужки,

наприклад, *Ex p [i Da] IIC T100°C Db*,

– якщо група пов'язаного електрообладнання відрізняється від групи апаратури захисту, тоді групу пов'язаного електрообладнання треба брати у квадратні дужки,

наприклад, *Ex p [i IIC Da] IIB T100°C Db*,

– якщо енергообмеження забезпечується поза електрообладнанням, символ виду вибухозахисту не треба брати у квадратні дужки,

наприклад, *Ex pi IIC Da T100°C Db*.

Стандарти Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) подібні до рекомендацій Європейського комітету з електротехнічної стандартизації (CENELEC), передбачають маркування електрообладнання вигляду, наведеного у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Маркування вибухобезпечного електрообладнання

<i>Ex</i>	<i>d</i>	<i>II</i>	/	<i>IB</i>	<i>T3</i>	<i>Dc</i>
1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)

1) Знак для електрообладнання, створеного згідно стандарту МЕК – знак *Ex* (explosion proof – вибухозахищений), говорить про те, що електричне обладнання відноситься до вибухозахищеного,

2) Позначення виду вибухозахисту (наприклад, *d, p, i, q, o, s, e*),

3) Група електрообладнання по вибухонебезпеці (*I, II, III*),

4) Похила риска (може бути відсутня).

5) Категорія вибухонебезпечної суміші – підгрупи електрообладнання (наприклад, *IIA, IIB, IIC*),

6) Температурний клас електрообладнання (наприклад, *T1, T4, T6*).

7)) Рівень вибухозахисту *PB*.

Відповідно до ПУЕ в маркуванні вибухозахищеного обладнання можуть мати місце додаткові знаки і написи відповідно до стандартів на електрообладнання з окремими видами вибухозахисту.

Приклади маркування вибухозахищеного електрообладнання наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Приклади маркування вибухозахищеного електрообладнання

<i>Приклад 4.1</i>		
Маркування за вибухозахистом	<i>Ex e II T6 Mb</i>	
Вид вибухозахисту	<i>e</i>	захист виду «е», в якому відсутні частини, в яких може виникнути іскріння, та вжиті додаткові заходи, що виключають небезпечний нагрів, застосовуються електроізоляційні матеріали високої якості, стійкі до вологи та хімічно-активних речовин і до накопичення статичної електрики
Рівень вибухозахисту	<i>II</i>	електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних середовищах, крім шахт (рудників), небезпечних через викидами газу
Група (підгрупа)	<i>II</i>	<i>II</i>
Температурний клас	<i>T6</i>	гранична температура 85°C
Рівень вибухозахисту	<i>Mb</i>	електрообладнання, що призначено для застосування у вугільних шахтах, небезпечних за газом і має «високий» рівень вибухозахисту, забезпечує достатній рівень безпеки завдяки забезпеченню ймовірності впливу джерела займання при нормальному режимі роботи за час між викидом газу та від'єднанням електрообладнання від напруги
<i>Приклад 4.2</i>		
Маркування за вибухозахистом	<i>Ex di II/IB T5 Ga</i>	
Вид вибухозахисту	<i>d</i> <i>i</i>	1) вибухонепроникна оболонка, що являє собою міцну закриту конструкцію, яка складається з однієї або кількох порожнин та характеризуються наявністю в місцях зчленування елементів (між фланцями) зазорів; 2) іскробезпечні електричні ланцюги, характеризується тим, що іскри, які виникають під час нормальної роботи або в разі аварійних ситуацій не здатні запалити вибухонебезпечне середовище
Рівень вибухозахисту	<i>II</i>	електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних середовищах, крім шахт (рудників), небезпечних через викидами газу

продовження табл. 4.5

Група (підгрупа)	<i>II/IB</i>	підгрупа <i>IB</i> з наявністю етилену
Температурний клас	<i>T5</i>	гранична температура 100°C
Рівень вибухозахисту	<i>Ga</i>	електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних газових середовищах, що має «дуже високий» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи, протягом очікування відмов або протягом нечастих відмов
<i>Приклад 4.3</i>		
Маркування за вибухозахистом	<i>Ex p II/IC T4 Gb</i>	
Вид вибухозахисту	<i>p</i>	заповнення або продувка оболонки захисним газом під дією надлишкового тиску, струмоведучі частини або частини під напругою, цього електрообладнання вбудовують в оболонку, яка і заповнюється або продувається захисним газом, що знаходиться під надлишковим тиском
Рівень вибухозахисту	<i>II</i>	електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних середовищах, крім шахт (рудників), небезпечних через викидами газу
Група (підгрупа)	<i>II/IC</i>	підгрупа <i>IC</i> при наявності водню
Температурний клас	<i>T4</i>	гранична температура 135°C
Рівень вибухозахисту	<i>Gb</i>	електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних газових середовищах, має «високий» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи або протягом очікування настання відмови
<i>Приклад 4.4</i>		
Маркування за вибухозахистом	<i>Ex q I T3 Da</i>	
Вид вибухозахисту	<i>q</i>	кварцове заповнення оболонки зі струмоведучими частинами, вибухобезпека забезпечується шляхом використання властивостей кварцового піску, виключенням прямого дотику струмоведучих частин до вибухонебезпечного середовища, зменшенням поверхні контакту вибухонебезпечного середовища з електричною дугою та розпеченими металевими частками, утворенням розпеченої склоподібної маси

продовження табл. 4.5

Рівень вибухозахисту	<i>I</i>	електрообладнання для застосування в шахтах, небезпечних за викидом рудникового газу та вугільного (з одночасним розширенням вимог до механічного захисту при використанні у підземних умовах)
Група (підгрупа)	<i>I</i>	<i>I</i>
Температурний клас	<i>T3</i>	гранична температура 200°C
Рівень вибухозахисту	<i>Da</i>	електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних пилових середовищах, що має «дуже високий» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи, або протягом очікування відмов, або протягом нечастих відмов
<i>Приклад 4.5</i>		
Маркування за вибухозахистом	<i>Ex sid I T2 Ma</i>	
Вид вибухозахисту	<i>s i d</i>	1) спеціальний вид вибухозахисту, який визначається особливостями роботи об'єкта, застосовуються заходи та засоби, ефективність яких визначається шляхом випробувань; 2) іскробезпечні електричні ланцюги, характеризується тим, що іскри, які виникають під час нормальної роботи або в разі аварійних ситуацій не здатні запалити вибухонебезпечне середовище; 3) вибухонепроникна оболонка, що являє собою міцну закриту конструкцію, яка складається з однієї або кількох порожнин та характеризуються наявністю в місцях зчленування елементів (між фланцями) зазорів
Рівень вибухозахисту	<i>I</i>	електрообладнання для застосування в шахтах, небезпечних за викидом рудникового газу та вугільного (з одночасним розширенням вимог до механічного захисту при використанні у підземних умовах)
Група (підгрупа)	<i>I</i>	<i>I</i>
Температурний клас	<i>T2</i>	гранична температура 300°C

продовження табл. 4.5

Рівень вибухозахисту	<i>Ma</i>	електрообладнання, що призначено для застосування у вугільних шахтах, небезпечних за газом і має «дуже високий» рівень вибухозахисту, забезпечує достатній рівень безпеки через зниження ймовірності виникнення джерела займання, навіть якщо воно залишається під напругою під час раптового викиду газу
<i>Приклад 4.6</i>		
Маркування за вибухозахистом	<i>Ex p i III/IIIC Da T100°C Db</i>	
Вид вибухозахисту	<i>p i</i>	1) заповнення або продувка оболонки захисним газом під дією надлишкового тиску, струмоведучі частини або частини під напругою, цього електрообладнання вбудовують в оболонку, яка і заповнюється або продувається захисним газом, що знаходиться під надлишковим тиском; 2) іскробезпечні електричні ланцюги, характеризується тим, що іскри, які виникають під час нормальної роботи або в разі аварійних ситуацій не здатні запалити вибухонебезпечне середовище
Рівень вибухозахисту	<i>III</i>	електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних пилових середовищах (за винятком шахт, небезпечних через вибухи рудникового газу)
Група (підгрупа)	<i>IIIC</i>	при наявності провідного пилу
Температурний клас	<i>T100°C</i>	гранична температура 100°C
Рівень вибухозахисту	<i>Db</i>	електрообладнання для застосування у вибухонебезпечних пилових середовищах, яке має «високий» рівень вибухозахисту, не є джерелом займання при нормальному режимі роботи або протягом очікування відмов

ВАРІАНТИ ДО ЗАВДАННЯ 4.

Розшифрувати маркування вибухозахищеного електрообладнання (у якості прикладу оформлення скористатись табл. 4.5).

№ варіанта	Шифр/маркування	
1	<i>Ex e II T6 Ma</i>	<i>Ex di III/IIA T100°C Gc</i>
2	<i>Ex ed II/IB T3 Mb</i>	<i>Ex pi III/IIIC T150°C Dc</i>
3	<i>Ex ic II/IIIC T6 Ga</i>	<i>Ex ei III/IIIB T200°C Dc</i>
4	<i>Ex ed II/IIA T3 Gb</i>	<i>Ex i III/IIIC T250°C Mb</i>
5	<i>Ex id I II/IB T4 Gc</i>	<i>Ex so III T300°C Db</i>
6	<i>Ex i II/IIIC T6 Dc</i>	<i>Ex io III T400°C Gc</i>
7	<i>Ex o II T5 Db</i>	<i>Ex d III/IIA T400°C Mb</i>
8	<i>Ex i II/IIIC T6 Dc</i>	<i>Ex d III/IIIB T300°C Mb</i>
9	<i>Ex si II/IIIC T6 Mb</i>	<i>Ex e III/IIIC T250°C Ga</i>
10	<i>Ex d II/IIA T1 Gc</i>	<i>Ex e III/IIA T150°C Gb</i>

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аерологія гірничих підприємств / Гурін А.О., Немченко А.А., Ошмянський І.Б. та ін. – Кривий Ріг, видав. КТУ, 2007 – 462 с.
2. Півняк Г.Г. Електрифікація гірничих робіт: Підручник / Г.Г. Півняк, М.М. Бєлий, Л.П. Ворохов, В.Т. Заїка, Ю.М. Зражевський, Ю.Т. Разумний, А.Я. Рибалко, В.І. Тесленко, Ф.П. Шкрабець; за ред. Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ: НГУ, 2005. – 615 с.
3. Рябенко І.С., Шевчук С.П., Мейта О.В. Електрообладнання та електропостачання машин і установок геотехнічних виробництв: підручник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи геотехнічних виробництв» – Київ: КГП ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 613 с.
4. Кулаков О.В., Росоха В.О. Електротехніка та пожежна профілактика в електроустановках. Підручник – Харків: НУЦЗУ, 2010. – 569 с.
5. Вибухонебезпечні середовища. Частина 0. Електрообладнання Загальні вимоги (ІЕС 60079-0:2007, MOD), ДСТУ 7113:2009. Видання офіційне, Київ, Держспоживстандарт України, 2012. – 66 с.
6. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Чинний від 2017-08-21. Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017. – 617 с.

ДОДАТОК А
Приклад оформлення титульного листа

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

Кафедра електричної інженерії

ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА

з дисципліни «Проблеми вибухозахисту рудникового електрообладнання»

Студента(ки) 1 курсу групи **ГМКм-23а**
Спеціальність: **131 Галузеве**
машинобудування

Сергій ГРИГОРЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник: ст.викл. Едуард НЄМЦЕВ

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Кількість балів: _____ Оцінка: _____.