

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**Методичні вказівки  
до виконання самостійної роботи  
з дисципліни**

**"ЕЛЕКТРОХІМІЯ І ЗАХИСТ ВІД КОРОЗІЇ"**

*(для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 0926 "Водні ресурси" (6.060103 – "Гідротехніка (водні ресурси)"))*

**ХАРКІВ  
ХНАМГ  
2011**

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни "Електрохімія і захист від корозії" (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 0926 "Водні ресурси" (6.060103 "Гідротехніка (водні ресурси)")) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: С. В. Нестеренко, Д. Ф. Донський. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 28с.

Укладачі: С. В. Нестеренко  
Д. Ф. Донський

Рецензент: проф. Душкін С. С.

Рекомендовано кафедрою хімії, протокол № 3 від 14.10.09

## СКОРОЧЕННЯ

<b>ДСЕ</b>	-	допоміжний сталевий електрод
<b>ЕХЗ</b>	-	електрохімічний захист
<b>ІЗ</b>	-	ізолювальне з'єднання
<b>ІФЗ</b>	-	ізолювальне фланцеве з'єднання
<b>КВП</b>	-	контроль-вимірювальний пункт
<b>МЕП</b>	-	мідно сульфатний електрод порівняння
<b>НД</b>	-	нормативний документ
<b>НЛЖ</b>	-	негативна лінія живлення електрифікованого рейкового транспорту
<b>ОСГ</b>	-	об'єкти системи газопостачання
<b>ПДЛ ЕХЗ</b>	-	пересувна дослідницька лабораторія електрохімічного захисту
<b>ПССГ</b>	-	підземні споруди системи газопостачання
<b>СВГ</b>	-	скраплені вуглеводневі гази
<b>УКЗ</b>	-	установка катодного захисту

## ОСНОВНІ ТЕРМІНИ

### **Адгезія**

Зв'язок між приведеними в контакт різнорідними поверхнями

### **Анодне заземлення**

Електрод (група електродів) установки катодного захисту, призначений для створення електричного контакту позитивного полюсу установки з ґрунтом при катодній поляризації трубопроводу

### **Анодна зона**

Зона стікання струму зі споруди, яка характеризується позитивним зміщенням потенціалу відносно стаціонарного потенціалу

### **Атмосферна корозія**

Корозія металу, зумовлена атмосферними умовами

### **Блукаючий струм**

Електричний струм, який протікає зовні призначеного для нього кола

### **Виконавча зйомка**

Нанесення розташування об'єкта на план землекористування та інші картографічні матеріали після закінчення будівництва

### **Вимірний максимальний миттєвий потенціал**

Найбільший позитивний або найменший за абсолютною величиною від'ємний показ вольтметра з вимірних різниць потенціалів між трубопроводом і електродом порівняння за період вимірювання

### **Вимірний мінімальний миттєвий потенціал**

Найменший позитивний або найбільший за абсолютною величиною від'ємний показ вольтметра з вимірних різниць потенціалів між трубопроводом і електродом порівняння за період вимірювання

### **Візуальний контроль**

Органолептичний контроль якості об'єкта, здійснюваний органами зору

### **Грибостійкість**

Стійкість захисного покриття до дії пліснявих грибів

### **Ґрунтовка (праймер)**

Прилеглий до металу шар покриття, що забезпечує міцність зчеплення з металом і покращує захисні властивості покриття

### **Густина поляризаційного струму**

Відношення сили поляризаційного струму до площі поверхні, яка є добутком довжини кола трубопроводу й відстані між мінімальними значеннями захисних потенціалів по обидва боки від місця встановлення катодного захисту

### **Дефект покриття**

Вада в захисному покритті у вигляді отворів, відшарувань, надрізів, надривів тощо

### **Діелектрична суцільність захисного покриття**

Відсутність наскрізних пошкоджень і потоншань у покритті, визначена під дією високовольтного джерела постійного струму

### **Електрична ізоляція**

Ізоляція (діелектричний шар), що забезпечує відсутність електричного зв'язку між спорудами або вузлами

### **Електричний дренаж**

Відведення блукаючих струмів зі сталевого трубопроводу (споруди), що захищається, до джерела струму шляхом її навмисного з'єднання чи через струмовідвід

### **Електроліт**

Рідина або рідкий компонент у середовищі, що проводить електричний струм за допомогою іонів

### **Електрод**

Електронний провідник у контакті з іонним провідником

### **Електрод порівняння**

Електрод зі стійким і відтворювальним потенціалом, який може бути використаний для вимірювань інших електродних потенціалів

### **Електрохімічний захист (активний захист)**

Захист металу від корозії регулюванням його потенціалу за допомогою зовнішнього джерела струму або з'єднання з металом (протектором), що має від'ємніший потенціал

### **Ефективність електрохімічного захисту**

Показник забезпечення захисним потенціалом у заданих межах усєї площі (всєї довжини) захищеної споруди в часі; залежить від стану ізоляції та роботи установок електрохімічного захисту

### **Ефективність роботи установок електрохімічного захисту**

Показник роботи установок електрохімічного захисту в оптимальних режимах у контрольних (опорних) точках вимірювання, передбачених нормативною та експлуатаційною документацією.

### **Захисне покриття (пасивний захист)**

Штучно створений шар (система шарів) на поверхні металу, призначений для захисту його від корозії

### **Захисний діапазон потенціалу**

Діапазон значень захисного потенціалу, в якому досягається прийнятна для даного випадку корозійна стійкість

### **Захисний потенціал**

Потенціал металу, що забезпечує певний захисний ефект

### **Захисний потенціал максимальний**

Максимальне (за абсолютною величиною) значення захисного потенціалу, яке забезпечує зниження швидкості корозії зовнішньої поверхні трубопроводу технічно допустимого рівня (менше 0,01 мм/рік) без негативного впливу на метал захисне покриття

### **Захисний потенціал мінімальний**

Мінімальне (за абсолютною величиною) значення захисного потенціалу, яке забезпечує зниження швидкості корозії зовнішньої поверхні трубопроводу технічно допустимого рівня (менше 0,01 мм/рік)

### **Захисний струм**

Поляризаційний струм, значення якого забезпечує потенціал у межах мінімальним і максимальним захисним потенціалом

### **Захист від корозії**

Внесення в корозійну систему змін, які зменшують корозійні пошкодження

### **Захищеність трубопроводу в часі**

Наявність нормативних захисних потенціалів (нормованої густини захисного струму), передбачених цим стандартом, на певній ділянці трубопроводу за певний час у абсолютних чи відносних одиницях

### **Захищеність трубопроводу по протяжності**

Протяжність ділянки трубопроводу, що захищається, на якій забезпечується нормований захисний потенціал (нормована густина захисного струму) в абсолютних чи відносних одиницях

### **Земляний дренаж (струмовідвід)**

Заземлення з низьким перехідним опором, яке встановлюють у місці, де земля має від'ємний потенціал відносно споруди, що захищають

### **Зміщення різниці потенціалів (зміщення потенціалу)**

Зсув потенціалів корозійного процесу до негативніших (позитивніших) величин є різницею між вимірним поточним, максимальним або мінімальним

за період часу потенціалом трубопроводу та його стаціонарним значенням. Зсув може здійснюватись під дією блукаючих струмів, катодної поляризації або інших чинників.

#### **Знакозмінна зона**

Зона дії блукаючих струмів, які змінюють напрямок

#### **Зовнішня корозія**

Корозія зовнішньої поверхні стінки трубопроводу під впливом оточуючого середовища.

#### **Зразок для випробувань**

зразок металу або захисного покриття, що використовують для визначення фізико-механічних характеристик металу трубопроводу або захисних властивостей покриття

#### **Ізолювальне з'єднання (вставка)**

Механічне діелектричне з'єднання трубопроводів за допомогою ізолювальних муфт (моноблоків) або ізолювальних фланців, які перешкоджають перетіканню електричного струму з однієї ділянки трубопроводу на іншу

#### **Катодний захист**

Електрохімічний захист трубопроводу методом катодної поляризації через знижування його потенціалу за допомогою зовнішнього джерела електричного струму або анодного протектора

#### **Катодна зона**

Ділянка підземного сталевого трубопроводу, потенціал якого зміщується відносно стаціонарного потенціалу тільки до більш від'ємних значень

#### **Комплексний протикорозійний захист**

Захист від корозійного руйнування підземного газопроводу кількома різними способом захисту (захисним покриттям і засобами електрохімічного захисту)

#### **Контроль**

Перевірка відповідності об'єкта встановленим вимогам нормативних документів

#### **Контроль технічного стану (технічне діагностування)**

Процес визначення з певною точністю технічного стану газопроводу (його складових), що діагностують (справності, працездатності, правильного функціонування)

#### **Контрольно-вимірювальний пункт**

Спеціально обладнаний пункт для проведення контрольних вимірювань на трубопроводі

#### **Корозійна агресивність середовища (грунтів, ґрунтових і інших вод)**

Властивість середовища викликати корозійне руйнування металу трубопроводу

#### **Корозія металів**

Процес руйнування металів унаслідок хімічної чи електрохімічної взаємодії їх з агресивним середовищем

### **Корозія під впливом блукаючого струму**

Корозія металу, зумовлена дією блукаючого електричного струму. Джерелами блукаючих струмів є різні технологічні процеси й виробництва, електрифіковані постійним або змінним струмом

### **Магістральний трубопровід**

Технологічний комплекс, що функціонує як єдина система і до якого входить окремий трубопровід з усіма об'єктами й спорудами, пов'язаними з ним єдиним технологічним процесом, або кілька трубопроводів, що здійснюють транзитні, міждержавні, міжрегіональні постачання продуктів транспортування споживачам, або інші трубопроводи, спроектовані та збудовані згідно з державними будівельними вимогами щодо магістральних трубопроводів.

### **Мідно сульфатний електрод порівняння насичений неполяризований**

Електрод порівняння, що складається з корпусу, дно якого є мембраною, і мідного стрижня, вміщеного в насичений розчин сірчаної кислоти міді (мідного купоросу)

### **Міцність покриття за удару**

Міцність покриття в умовах ударного навантаження

### **Обгортка**

Матеріал, призначений для захисту ізоляційно-захисного шару покриття від механічних пошкоджень і шкідливої дії теплового й сонячного випромінювання

### **Об'єкти системи газопостачання**

Підземні і надземні трубопроводи й споруди системи газопостачання

### **Омічна складова**

Частина захисного потенціалу, яка зумовлена падінням напруги на активному опорі на ділянці кола вимірювання між трубопроводом і електродом порівняння тобто на захисному покритті й ґрунті

### **Пенетрація**

Глибина вдавлення у випробуваний зразок стандартного металевого стрижня в умовах заданого навантаження

### **Перехідний опір покриття**

Електричний опір між ізольованим за допомогою захисного покриття металів трубопроводу й ґрунтів

### **Питомий електричний опір ґрунту**

Опір розтіканню струму, що чинить прямокутна ділянка ґрунту, характеризує корозійну агресивність ґрунту, яка визначається концентрацією розчинених речовин, вологістю, складом тощо

### **Підземна (ґрунтова) корозія**

Електрохімічна корозія металу трубопроводу, що експлуатують у підземних умовах (у закритому стані), при якій ґрунт постає корозійним середовищем

### **Площа катодного відшаровування покриття**

Площа захисного покриття, що відшаровується під впливом катодної поляризації

### **Подовжнє секціонування трубопроводів**

Електричний поділ трубопроводів на окремі секції (ділянки), завдяки чому досягається значне зменшення блукаючих струмів, що протікають по трубопроводу і підвищується ефективність роботи установок електрохімічного захисту. Секціонування забезпечується за допомогою ізолюючих діелектричних вставок чи з'єднань (фланців, муфт, моноблоків, ділянок неметалевих труб тощо)

### **Поляризаційна складова захисного потенціалу**

Стрибок потенціалу на фазовій границі «метал-грунтовий» електроліз зумовлений протіканням струму засобів електрохімічного захисту: дорівнює різниці поляризаційного потенціалу й потенціалу корозії металу трубопроводу

### **Поляризаційний потенціал**

Електрохімічний потенціал металу, зумовлений протіканням струму зовнішнього джерела; дорівнює сумі потенціалу корозії та стрибка потенціалу фазовій границі «метал-електроліт» (за вилученням омичної складової). Є основною характеристикою захищеності споруди від корозії

### **Поляризація**

Зміна потенціалу трубопроводу, зумовлена протіканням електричного струму

**Потенціал підземної споруди (вимірний, сумарний потенціал, різних потенціалів «споруда-земля»)**

Різниця електрохімічних потенціалів між металом підземної споруди й точкою навколишнього середовища (землі) відносно якої здійснюють вимірювання за допомогою електрода порівняння; складається з суми стаціонарного потенціалу поляризаційної та омичної складових

### **Потенціал корозії (стаціонарний потенціал, природний потенціал)**

Потенціал металу, що встановлюється внаслідок протікання спряжених анодного і катодного процесів без зовнішньої поляризації

### **Протектор**

Метал чи сплав, що застосовують для електрохімічного захисту і має нижчий потенціал корозії порівняно з металом, який захищають

### **Протекторний (гальванічний) захист**

Електрохімічний захист, при якому захисний струм виробляється корозійним елементом, створеним з використанням допоміжного електроду, який підключають до металу, що захищають

### **Протикорозійний захист**

Процес [засоби], які застосовують для зменшення або припинення корозії (пасивний і активний захист)

### **Споруди системи газопостачання**

Технічний комплекс, до складу якого входять:

- газопроводи й споруди на них;
- засоби захисту від електрохімічної корозії;
- газорегуляторні пункти;
- резервуари скрапленого газу

### **Температура крихкості**

Температура, при досягненні якої матеріал покриття стає крихким



### **Товщина захисного покриття**

Відстань по нормалі між металевою поверхнею трубопроводу й поверхнею зовнішнього шару захисного покриття

**Установка електрохімічного захисту (катодна, протекторна, дренажна)**

Функціонально об'єднана в електричне коло сукупність технічних засобів, призначених для катодної поляризації підземних металевих споруд зовнішнім струмом (катодна, проте карна установка), або для відведення з газопроводу блукаючих струмів сторонніх джерел (дренажна установка)

### **Швидкість корозії**

Корозійні втрати з одиниці поверхні металу за одиницю часу

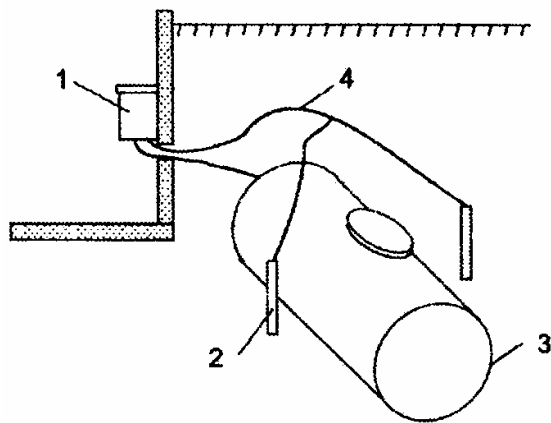
### **Швидкість проникання корозії**

Глибина корозійного руйнування металу за одиницю часу

## **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ**

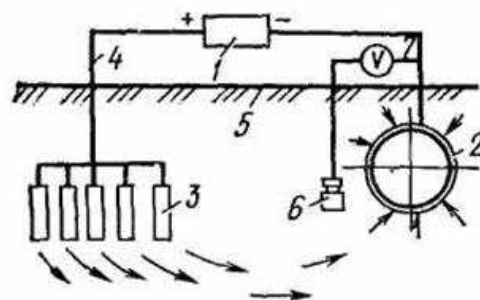
Швидкість корозії металу значною мірою залежить від електродного потенціалу, тому якщо зсунути його в негативному напрямку до зони „імунітету“ на діаграмі Пурбе, то метал стає термодинамічно стійким. При позитивних значеннях потенціалу метал можна перевести до пасивного стану, і його корозійне руйнування також практично припиниться. Тому електрохімічний захист полягає в катодній або анодній поляризації металевої конструкції від джерела постійного струму або короткозамкненого електрода-протектора. Залежно від типу поляризації електрохімічний захист поділяють на *катодний* і *анодний*.

*Катодний захист* здійснюють підключенням металоконструкції до негативного полюсу джерела постійного струму (*захист зовнішнім струмом*) або до металу з більш негативним потенціалом (*протекторний захист*). У цих умовах метал, що захищають, відіграє роль катода, і на його поверхні перебігає процес відновлення деполіаризатора, а електрони, потрібні для цього, надходять від зовнішнього джерела. При катодному захисті зовнішнім струмом (рис.1а,б) позитивний полюс джерела приєднують до допоміжного електрода (анода-заземлювача), який виготовляють з нерозчинних матеріалів (графіт, магнетит, феросиліцид) або розчинного металевого брухту. Останній періодично потрібно відновлювати, оскільки він окислюється і руйнується. Потенціал захищуваного металу вимірюють відносно електрода порівняння (у водних розчинах для цього здебільшого використовують аргентумхлоридний електрод:  $E^0 = 0,201$  В, а у ґрунті - купрумсульфатний:  $E^0 = 0,32$  В).



**Рис. 1а – Схема катодного захисту ємності зовнішнім струмом:**

**1 - джерело постійного струму;  
2 - аноди-заземлювачі; 3 - об'єкт  
Захисту; 4 - електричні контакти**



**Рис.1б - Схема катодного захисту : 1 – джерело струму; 2 - трубопровід; 3 - анодне заземлення; 4 - металевий провідник; 5 - ґрунт; 6 – мідно-сульфатний електрод; 7- високоомний вольтметр**

**Таблиця 1 – Потенціали захисту металів у ґрунті й воді відносно купрумсульфатного електрода**

Метал	Потенціал, В
Залізо й сталь	-0,85
Свинець	-1,2...-0,6
Алюміній	-1,2...-0,9
Мідь	-0,2

Значення захисного потенціалу (табл. 1) є вирішальним для процесу катодного захисту, оскільки для амфотерних металів (свинець, алюміній) при більш негативних потенціалах виникає небезпека утворення розчинних комплексних сполук у присутності гідроксид-іонів, які утворюються при відновленні кисню в катодній реакції. Тому критеріями захищеності є мінімальний і максимальний захисні поляризаційні потенціали. Таким чином, для точного регулювання поляризаційного потенціалу трубопроводу, стосовно електрода порівняння з обмірюваної різниці потенціалів повинна бути ілюмінована (виключена) величина омичної складової. Це досягається застосуванням спеціальної схеми виміру поляризаційного потенціалу.

Для інших технічних металів, особливо при корозії з водневою деполяризацією, можливе інтенсивне виділення водню, що загрожує наводнюванням і погіршенням, унаслідок цього, механічних властивостей металу (підвищенням небезпеки міжкристалітної корозії). Тому для кожного металу потрібно підтримувати інтервал захисних потенціалів за рахунок поляризації струмом, густина якого залежить від складу корозійного середовища (табл. 2) й стану (ступеня шорсткості) поверхні.

Катодний захист застосовують для металевих виробів, що знаходяться в ґрунті (підземні водо-, нафто- й газопроводи; телефонні кабелі; сталеві сваї;

сховища нафти й паливних матеріалів) і морській воді, а також для апаратури хімічних і інших підприємств (холодильники, конденсатори, теплообмінники тощо). Звичайно катодний захист використовують разом з ізоляційними покриттями, нанесеними на зовнішню поверхню спорудження, що захищають. Поверхнєве покриття зменшує необхідний струм на кілька порядків. Так, для катодного захисту сталі гарним покриттям у ґрунті потрібно всього 0,01...0,2 мА/м<sup>2</sup>. У міру руйнування покриття й оголення металу катодний струм повинен зростати для забезпечення захисту трубопровода. Струм, необхідний для катодного захисту підземних металевих трубопроводів, майже повністю залежить від якості покриття. Наприклад, при використанні бітумних покриттів густина катодного струму становить лише 0,1-1 мА/м<sup>2</sup>, а епоксидних і поліетиленових - усього 0,01...0,1 мА/м<sup>2</sup>. Але в цих умовах слід застосовувати покриття, стійкі до залуження середовища й міцно зчепленні з основою, бо при перезахисті можливе виділення водню і відшарування покриття (табл. 3).

Таблиця 2 – Густина катодного струму для захисту сталі від корозії

Тип середовища	Густина струму, А/м <sup>2</sup>
Ґрунт	0,01...0,5
Прісна вода	0,02...0,05
Морська вода	0,05...0,15
Морська вода проточна	0,15...0,30
Сульфатна кислота (гаряча)	400

Кількісними характеристиками катодного захисту є *захисний ефект*

$$Z = \frac{k_m^0 - k_m^1}{k_m^0} \cdot 100\% ,$$

де  $k_m^0$  і  $k_m^1$  - масові показники корозії металу за відсутності захисту й при його використанні відповідно;

та *коефіцієнт захисної дії*  $k_3$ , що характеризує зменшення корозійних втрат на одиницю значення захисного струму:

$$k_3 = \frac{\Delta m_0 - \Delta m_1}{j_k} ,$$

де  $\Delta m_0$  і  $\Delta m_1$  - втрата маси металу, г, без захисту і з його застосуванням відповідно;  $j_k$  - густина катодного струму, А/м<sup>2</sup>.

Таблиця 3 - Вимоги до захисних ізоляційних покриттів

№ п п	Основа покриття й умови нанесення	Конструкція (структура) покриття	показники основних технічних параметрів			
			загальна товщина, не менше	Адгезія до сталевій поверхні		Відсутність пробою при випробувальній електричній напрузі, кВ
				Н/см (кгс/см )	МПа (кгс/см )	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Екструдований поліетилен (ТУ У322-8-1-95) Харцизький трубний з-д  Базові	Адгезійний підшар на основі севілену з адгезійноактивними домішками				
		Екструдований поліетилен для труб діаметром:				
		до 250 мм до 500 мм більше 500 мм	2,5 3,0 3,5	35 (3,5) 35 (3,5) 35 (3,5)	— — —	12,5 15,0 17,5
2.	Напилений поліетилен  Базові	Основний шар на основі термосвітлостабілізованих композицій порошкового поліетилену низького чи високого тиску згідно ГОСТ 16337-77 і ГОСТ 16338-85 для труб діаметром:				
		до 250 мм до 500 мм більше 500 мм	2,3 2,5 3,0	35 (3,5) 35 (3,5) 35 (3,5)	— — —	11,5 12,5 17,5
3.	Термоусадочні стрічки на основі поліетилену  Базові	Двошарова термоусадочна стрічка з терможорстким адгезивом типу «Термізол» (ТУУ88.264.022-95) АТ «Укркомунсервіс» м.Київ чи ДТЛ-91 (ТУ У 01297780-76-94) АТ «Вінницягаз»	2,0	35 (3,5)	—	10,0
4.	Полімерні липкі стрічки на основі поліетилену  Базові	Ґрунтовка типу ГРБІ (ТУ 88У264-58-92) Два шари плівки полімерної дубльованої типу ЛДПЛ (ТУ 88 У 264-06-93) Один шар захисної обгортки типу ЛДПЛ-0(ТУ 88 У 264-07-93) ТОВ «СКВ», м.Б.Церква	1,8	15 (1,5)	—	9,0

1	2	3	4	5	6	7
5.	Полімерний рулонний матеріал «Бутіт»  Базові	Мастика бутілкаучукова типу БК-М (ТУ 21 УСССР 453-88) Два шара бутілкаучукової стрічки (ТУ 21 УСССР 453-88) Один шар зовнішньої обгортки з рулонних матеріалів або паперу для труб діаметром до 426 мм	2,0	10 (1,0)	—	10,0
6.	Бітумні мастики  Базові	Грунтовка бітумна чи бітумно-полімерна Мастика бітумно-гумова чи бітумно-азбополімерна (ГОСТ 15836-79) Склополотно Мастика бітумно-атактична чи бітумно-гумова, чи бітумно полімерна Склополотно Мастика бітумноатактична чи бітумно-гумова, чи бітумно полімерна Один шар зовнішньої обгортки з паперу для труб діаметром: до 150 мм більше 150 мм	2,5÷3,0  2,5÷3,0  2,5÷3,0  7,5 9,0	—  —  —  — —	—  —  —  0,5 (5,0) 0,5 (5,0)	—  —  —  30,0 36,0
7.	Кам'янувогільна мастика «Катізол» (ТУ204-1088-80)  Базові	Грунтовка кам'янувогільна «Катилак» Мастика кам'янувогільна «Катізол» Склополотно Мастика кам'янувогільна «Катізол» Склополотно Мастика кам'янувогільна «Катізол» Один шар зовнішньої обгортки з паперу чи рулонних матеріалів для труб діаметром: до 150 мм більше 150 мм	2,0÷2,5  2,0÷2,5  2,0÷2,5  6,0 7,5	—  —  —  — —	—  —  —  0,6 (6,0) 0,6 (6,0)	—  —  —  24,0 30,0

## РОЗРАХУНОК КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ТРУБОПРОВОДІВ ВІД КОРОЗІЇ

Розрахунок і вибір катодної установки.

При проектуванні катодного захисту трубопроводу одним з найважливіших етапів розрахунку є визначення електричних параметрів трубопроводу. До них відносяться:

- $R_T$  — поздовжній опір трубопроводу, Ом · м;
- $R_n$  — перехідний опір «труба – земля», Ом · м;
- $\alpha$  — стала поширення струму вздовж трубопроводу, 1/м;
- $Z_B$  — вхідний опір трубопроводу, Ом;
- $y$  — відстань між трубопроводом і анодним заземленням, м;
- $l_3$  — відстань між катодними установками, м;
- $I$  — сила струму катодної установки, А;
- $U$  — напруга на виході катодної станції, В;
- $W$  — потужність на виході катодної станції, Вт.

Поздовжній опір трубопроводу, що має стандартні розміри може бути розрахований за формулою, Ом/м:

$$R_T = \frac{\rho_T}{\pi \cdot (D - \delta) \cdot \delta}, \quad (1)$$

- де  $\rho_T$  — питомий електричний опір металу,  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;
- $D$  — діаметр трубопроводу, мм;
- $\delta$  — товщина стінки трубопроводу, мм

Величина перехідного опору «труба-земля» вираховують за формулою, Ом · м:

$$R_n = \frac{R_{nis}}{\pi \cdot D}, \quad (2)$$

- де  $R_{nis}$  — перехідний опір ізоляції трубопроводу залежно від питомого опору ґрунту, Ом · м<sup>2</sup> (таб.4)
- $D$  — діаметр трубопроводу, м.

Таблиця 4 - Перехідний опір ізоляції трубопроводу  $R_{n,із}$

$\rho$ ґрунту Ом · м	10	20	30	40	50	100	150
Початковий період, Ом · м <sup>2</sup>	1300	1700	2000	2500	2800	3900	4600
Те саме через 5 років, Ом · м <sup>2</sup>	650	900	1100	1300	1500	2100	2600
Те саме через 10 років, Ом · м <sup>2</sup>	300	400	500	650	750	1100	1400

Сталу поширення струму вздовж трубопроводу, 1/м, визначають за формулою:

$$\alpha = \sqrt{\frac{R_T}{R_n}}. \quad (3)$$

Вихідний опір трубопроводу  $Z_B$  при однакових електричних параметрах лівого і правого пліч, Ом, визначають за формулою:

$$Z_B = \frac{\sqrt{R_T \cdot R_n}}{2}. \quad (4)$$

Відстань між трубопроводом і анодним заземленням розраховують, знайшовши на номограмі (рис. 2) допоміжні величини  $P$  і  $Q$

Для установок з екранним заземленням одержану величину помножують на коефіцієнт 1,4.

На осі абсцис номограми відкладено величину  $P = y \cdot Z_B$ . Знаючи величину  $\rho_r$  і визначивши за її допомогою  $P$ , знаходять відстань між трубопроводом і анодним заземленням, м

$$y = \frac{P}{Z_B}. \quad (5)$$

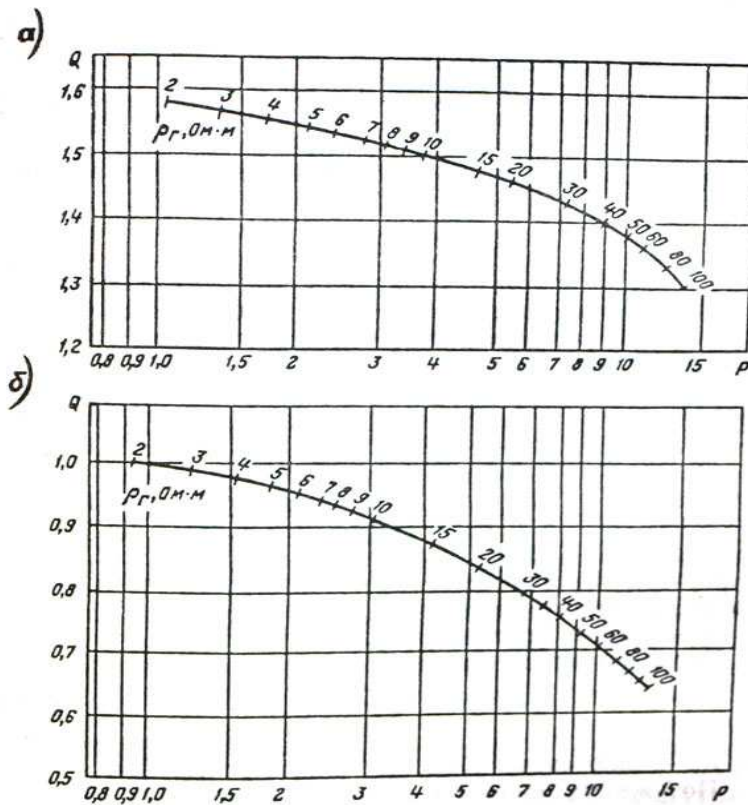


Рис.2 - Номограма для визначення значень  $Q$  і  $P$  по питомому опору землі  $\rho_r$ :

а)  $U_{m.z.o.} = -0,95V$ ; б)  $U_{m.z.o.} = -0,55V$

Відстань між катодними установками (плече захисту)  $l_3$  знаходять на номограмі. На осі ординат номограми відкладено величину  $Q = \frac{\alpha \cdot l_3}{2}$ . За відомим значенням  $\rho_r$  знаходимо значення  $Q$ , а потім плече захисту  $l_3$ , м:

$$l_3 = \frac{2 \cdot Q}{\alpha} \quad (6)$$

Силу струму УКЗ, А, визначають із залежності:

$$I = \frac{U_{T.з.о.}}{Z_B + \frac{\rho_r}{2\pi y}}, \quad (7)$$

де  $U_{T.з.о.}$  — накладена різниця потенціалів «труба-земля» в точці дренажу, В;

$\rho_r$  — питомий опір ґрунту, Ом м

Для вологих ґрунтів  $U_{T.з.о.}$  приймають такою, що дорівнює  $U_{T.з.о.} = -0,55$  В, для сухих ґрунтів  $U_{T.з.о.} = -0,95$  В.

Напругу на виході катодної станції, В, визначають за формулою:

$$U = I \cdot (Z_B + R_{\text{ДП}} + R_3), \quad (8)$$

де  $R_{\text{ДП}}$  — опір дренажних проводів, які з'єднують катодну станцію з трубопроводом і анодним заземленням, Ом;

$R_3$  — опір розтіканню анодного заземлення, Ом, з таблиць

Опір дренажних проводів  $R_{\text{ДП}}$ , Ом, визначають з виразу:

$$R_{\text{ДП}} = \rho_M \cdot \frac{y + y_c}{S}, \quad (9)$$

де  $\rho_M$  — питомий опір матеріалу проводів,  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ; (для алюмінію

$$\rho_M = 0,028);$$

$y_c$  — довжина спусків проводів з опор до катодної станції, анодного заземлення й трубопроводу, м;

$S$  — переріз проводу,  $\text{мм}^2$

Переріз проводу визначають:

$$S = \frac{\rho_M \cdot (y + y_c)}{0,25 \cdot R_C}, \quad (10)$$

де  $R_C$  — опір схеми СКЗ, що дорівнює 1,5 Ом.

Потужність на виході катодної станції, Вт, визначають за формулою:

$$W = I \cdot U = I^2 \cdot (Z_B + R_{\text{ДП}} + R_3). \quad (11)$$

Відповідно до величини розрахованої потужності за нормальним рядом обирають тип катодної станції.

З часом експлуатації трубопроводу електричні параметри його змінюються і виникає необхідність установа додаткових УКЗ на ділянках, де крива різниці потенціалів «труба-земля» близька до мінімально допустимих значень.

### Приклад

Провести вибір типу станції катодного захисту газопроводу при таких вихідних даних:

діаметр трубопроводу  $D=1020$  мм;

товщина стінки  $\delta=10$  мм;

довжина  $L = 420$  км;



питомий електричний опір ґрунту  $\rho_r = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;

опір дренажних проводів  $R_{\text{ДР}} = 0,3 \text{ Ом}$ ;

накладена різниця потенціалів «труба – земля» в точці дренажу

$U_{\text{Т.з.о.}} = - 0,95 \text{ В}$ ;

довжина спусків проводів  $y_c = 40 \text{ м}$ ;

опір розтіканню анодного заземлення  $R_z = 0,65 \text{ Ом}$ .

**Таблиця 5 - Опір заземлення із електродів ЗКА-140 (ЗЖК-12-КА)**

Кількість електродів	Питомий опір ґрунту, Ом м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b><i>О д н о р я д н е   з а з е м л е н н я</i></b>										
5.	0,77	1,54	2,31	3,08	3,85	4,52	5,39	6,16	6,93	7,70
6.	0,55	1,30	1,95	2,60	3,25	3,90	4,55	5,20	5,83	6,50
7.	0,52	1,12	1,58	2,24	2,80	3,36	3,92	4,48	5,04	5,60
8.	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,08
9.	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,60	4,05	4,30
10.	0,41	0,82	1,23	1,64	2,05	2,46	2,87	3,28	3,69	4,00
11.	0,37	0,74	1,11	1,48	1,85	2,22	2,59	2,95	3,33	3,70
12.	0,35	0,69	1,04	1,38	1,73	2,07	2,41	2,75	3,11	3,45
13.	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60	1,92	2,24	2,58	2,88	3,20
14.	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00
15.	0,28	0,55	0,84	1,12	1,40	1,66	1,96	2,29	2,52	2,80
16.	0,27	0,53	0,80	1,06	1,33	1,59	1,85	2,12	2,38	2,65
17.	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
18.	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92	2,16	2,40
19.	0,23	0,45	0,68	0,90	1,13	1,35	1,58	1,80	2,03	2,25
20.	0,22	0,43	0,65	0,88	1,08	1,29	1,51	1,72	1,94	2,16
21.	0,21	0,41	0,62	0,86	1,09	1,23	1,44	1,64	1,85	2,05
22.	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,56	1,80	2,00
23.	0,19	0,38	0,57	0,76	0,95	1,14	1,33	1,50	1,71	1,90
24.	0,19	0,37	0,56	0,74	0,93	1,11	1,30	1,48	1,59	1,85
25.	0,18	0,35	0,53	0,70	0,88	1,05	1,23	1,40	1,57	1,76
<b><i>Д в о р я д н е   з а з е м л е н н я</i></b>										
2x10	0,25	0,49	0,74	0,98	1,23	1,47	1,72	1,96	2,21	2,45
2x11	0,22	0,44	0,66	0,88	1,10	1,32	1,54	1,76	1,98	2,20
2x12	0,21	0,41	0,62	0,82	1,03	1,23	1,44	1,64	1,85	2,05
2x13	0,20	0,39	0,59	0,78	1,08	1,17	1,37	1,55	1,76	1,95
2x14	0 IQ	0 37	0 55	0,74	0,93	1,11	1,30	1,48	1,67	1,85
2x15	0,18	0,35	0,59	0,70	0,88	1,05	1,23	1,40	1,58	1,75
2x16	0,17	0,33	0,50	0,66	0,83	0,99	1,16	1,32	1,49	1,65

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2x17	0,16	0,31	0,47	0,62	0,78	0,93	1,09	1,24	1,40	1,58
2x18	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50
2x19	0,14	0,28	0,43	0,56	0,70	0,84	0,98	1,12	1,26	1,40
2x20	0,14	0,27	0,41	0,54	0,68	0,81	0,95	1,08	1,22	1,35
2x21	0,13	0,26	0,40	0,53	0,66	0,79	0,92	1,06	1,19	1,32
2x22	0,13	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78	0,91	1,04	1,17	1,30
2x23	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25
2x24	0,12	0,24	0,36	0,48	0,58	0,72	0,84	0,95	1,08	1,20
2x25	0,12	0,23	0,35	0,46	0,50	0,60	0,81	0,92	1,04	1,13

Поздовжній опір трубопроводу визначають за формулою:

$$R_T = \frac{0,245}{3,14 (1020-10) \cdot 10} = 7,725 \cdot 10^{-6} \text{ Ом/м,}$$

де  $\rho_T = 0,245$  (Ом - м) для сталі.

Перехідний опір «труба – земля» визначають за формулою:

$$R_n = \frac{2000}{3,14 \cdot 1,020} = 625 \text{ Ом} \cdot \text{м,}$$

де  $R_{n.is}$  вибирають з табл. 4 даного розрахунку . Для заданого питомого опору ґрунту  $\rho = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ :

$$R_{n.is} = 2000 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Стала поширення струму вздовж трубопроводу  $\alpha$  є основним параметром, що характеризує довжину зони захисту.

$$\alpha = \sqrt{\frac{7,72 \cdot 10^{-6}}{625}} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ 1/м.}$$

**Таблиця 6 – Опір заземлення з вертикальних графітопластових електродів довжиною 3 м**

Кількість електродів	Питомий опір ґрунту, Ом м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>О д н о р я д н е з а з е м л е н н я</i>										
5.	0,54	1,08	1,82	2,15	2,70	3,24	3,73	4,32	4,73	5,00
6.	0,47	0,94	1,41	1,88	2,35	2,80	3,29	3,75	4,73	5,00
7.	0,42	0,84	1,20	1,68	2,10	2,52	2,94	3,35	3,79	4,20
8.	0,37	0,74	1,11	1,51	1,85	2,20	2,59	2,95	3,25	3,70
9.	0,35	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15	3,50
10.	0,33	0,66	1,00	1,32	1,65	1,93	2,31	2,64	2,97	3,30
11.	0,29	0,58	0,97	1,10	1,45	1,74	2,03	2,32	2,61	2,90
12.	0,26	0,51	0,77	1,02	1,28	1,54	1,79	2,06	2,30	2,55

Продовження табл. 6

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
13.	0,24	0,49	0,73	0,98	1,22	1,45	1,71	1,95	2,20	2,44
14.	0,23	0,47	0,70	0,94	1,17	1,40	1,64	1,88	2,11	2,34
15.	0,23	0,45	0,68	0,90	1,14	1,36	1,59	1,82	2,04	2,27
16.	0,22	0,44	0,65	0,88	1,10	1,32	1,54	1,75	1,98	2,20
17.	0,22	0,43	0,64	0,86	1,08	1,30	1,54	1,73	1,94	2,16
18.	0,21	0,42	0,64	0,85	1,06	1,27	1,48	1,70	1,91	2,12
19.	0,21	0,42	0,53	0,84	1,05	1,25	1,47	1,68	1,39	2,10
20.	0,21	0,42	0,53	0,84	1,05	1,25	1,45	1,58	1,33	2,09
<i>О д н о р я д н е з а з е м л е н н я</i>										
2x5	0,27	0,54	0,81	1,08	1,35	1,62	1,89	2,16	2,43	2,70
2x6	0,24	0,47	0,70	0,94	1,18	1,48	1,64	1,88	2,12	2,35
2x7	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68	1,89	2,10
2x8	0,19	0,37	0,56	0,74	0,92	1,11	1,30	1,48	1,65	1,85
2x9	0,18	0,35	0,52	0,70	0,88	1,05	1,22	1,40	1,58	1,75
2x10	0,16	0,33	0,50	0,65	0,82	0,99	1,16	1,32	1,48	1,65
2x11	0,14	0,29	0,44	0,58	0,72	0,87	1,02	1,16	1,30	1,45
2x12	0,13	0,26	0,38	0,51	0,64	0,77	0,90	1,02	1,15	1,28
2x13	0,12	0,24	0,37	0,49	0,61	0,73	0,85	0,98	1,10	1,22
2x14	0,12	0,23	0,36	0,47	0,58	0,70	0,82	0,95	1,05	1,17
2x15	0,11	0,23	0,34	0,46	0,57	0,68	0,80	0,91	1,03	1,14
2x16	0,11	0,22	0,33	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	0,99	1,10
2x17	0,11	0,22	0,32	0,43	0,54	0,65	0,76	0,86	0,97	1,08
2x18	0,11	0,21	0,32	0,42	0,53	0,64	0,74	0,85	0,95	1,06
2x19	0,10	0,21	0,32	0,42	0,52	0,63	0,73	0,84	0,94	1,05
2x20	0,10	0,21	0,31	0,42	0,52	0,62	0,73	0,83	0,93	1,04

Вхідний опір трубопроводу в початковий період можна визначити:

$$Z_{в.п.} = \sqrt{\frac{7,72 \cdot 10^{-6} \cdot 625}{2}} = 34 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Для визначення відстані між трубопроводом і анодним заземленням у користуємось номограмою (рис. 2) і за питомим опором ґрунту  $\rho$  знаходимо величину  $P$ . Для даного прикладу  $P = 5,8$ .

$$\text{Тоді } y = \frac{5,8}{0034} = 171 \text{ м}$$

Відстань між катодними установками (плече захисту) можна визначити, попередньо знайшовши на номограмі (рис. 2), величину  $Q$  за заданим значенням  $\rho$ .

У даному прикладі  $Q = 0,83$ .

Тоді

$$l_3 = \frac{2 \cdot 0.83}{1.1 \cdot 10^{-4}} = 15090 \text{ м.}$$

Сила струму в точці дренажу в початковий період роботи УКЗ:

$$I_H = \frac{0.95}{0.034 + \frac{30}{2 \cdot 3.14 \cdot 171}} = 15.3 \text{ А.}$$

Для визначення напруги на виході катодної станції необхідно спочатку визначити переріз дренажних проводів:

$$S = 0.028 \cdot \frac{171 + 40}{0.25 \cdot 1.5} = 15.8 \text{ мм}^2$$

Опір дренажних проводів:

$$R_{\text{др.}} = 0.028 \cdot \frac{171 + 40}{15.8} = 0.37 \text{ Ом.}$$

Загальна кількість електродів:

$$n = \frac{R_t}{R_a \cdot \eta},$$

де  $R_t$  — перехідний опір горизонтального електрода, Ом;

$$R_t = 0.3 \cdot \rho_r \quad R_r = 0.3 \cdot 30 = 9 \text{ Ом.}$$

$R_a$  — загальний перехідний опір електродів, Ом;

$$R_a = \frac{R_c}{2}; \quad R_a = \frac{1.5}{2} = 0.75 \text{ Ом.}$$

Тоді

$$n = \frac{9}{0.75 \cdot 0.8} = 15$$

$\eta$  — коефіцієнт використання електрода, який працює сумісно з сусіднім  $\eta_e = 0.8$ ;

Опір розтікання анодного заземлення  $R_3$  беремо з табл. 5 і 6:

для  $\rho_r = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  і  $n = 15$  графітопластових вертикальних електродів, розташованих у один ряд.

$$\eta_e = 0.68.$$

Тоді напруга на виході катодної станції:

$$U_H = 15.3 \cdot (0.034 + 0.37 + 0.68) = 16.5 \text{ В.}$$

Потужність на виході катодної станції в початковий період експлуатації трубопроводу:

$$W_H = I_H \cdot U_H = 15.3 \cdot 16.5 = 253 \text{ Вт.}$$

Відомо, що величина сили струму в точці дренажу в кінцевий період роботи катодного захисту через 10 років може бути визначена:

$$I_K = 2.5 \cdot I_H = 2.5 \cdot 15.3 = 38.3 \text{ А}$$

Перехідний опір «труба-земля» для періоду експлуатації трубопроводу через 10 років визначається:

$$R_n = \frac{500}{3.14 \cdot 1.020} = 156 \text{ Ом}$$

Вхідний опір у цьому випадку буде дорівнювати:

$$Z_{B_k} = \frac{\sqrt{7.72 \cdot 10^{-6} \cdot 156}}{2} = 17.3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Напруга на виході катодної станції в кінцевий період експлуатації трубопроводу:

$$U_K = 38,3 (0.0173 + 0,37 + 0,68) = 40,8 \text{ В.}$$

Потужність на виході катодної станції в кінцевий період експлуатації трубопроводу:

$$W_K = 38,3 \cdot 40,8 = 1563 \text{ Вт.}$$

До встановлення може бути прийнятим перетворювач автоматичний, сітвовий ПАСК-М-2 з номінальною потужністю на виході 2000 Вт.

У теперішній час основним методом боротьби з корозією є електрохімічний захист (ЕХЗ). Статистика експлуатації засобів ЕХЗ показує, що прийнятий на практиці період огляду діючих пристроїв (два рази на місяць) допускає виведення з ладу їх у межах 15-30%; щотижневий огляд дає змогу підвищити надійність до 85—91%, а безперервний дистанційний контроль роботи установок катодного захисту дозволяє звести до мінімуму простої засобів захисту до 1—2%. Для підвищення надійності засобів ЕХЗ виконують заміну морально застарілого устаткування (катодних станцій КС і заземлювачів ЗКА) на сучасніші засоби активного захисту: перетворювачі для катодного захисту ПАСК, ПСК, ТДЕ, графітопластові електроди, глибинні заземлення тощо. Крім необхідного запасу за потужністю, перетворювачі ПАСК, ПСК знижують кількість відмов у роботі СКЗ, а також продовжують у два рази термін служби анодних заземлювачів через збільшення вихідної напруги станції катодного захисту на 100 %. Технічну характеристику СКЗ подано в табл. 7.

Крім указаних у таблиці неавтоматичних станцій КЗ, можуть використовуватись у КЗ автономні з моторгенератором, автоматизовані електростанції з термоелектрогенератором АЕС-ТЕГ. Джерелом живлення для них служить природний газ.

Для підвищення експлуатаційної надійності засобів ЕХЗ було створено систему безперервного дистанційного контролю (телеконтролю) за роботою установок катодного захисту типу ТКЗ-2М, ТКЗ-4, в яких передачу інформації виконують по високонадійному фізичному каналу «труба — земля».

Але ці системи через велику кількість конструктивних недоліків не знайшли широкого застосування і в Україні не застосовують. У теперішній час розробляють нову систему телеконтролю за роботою УКЗ, яка буде складовою частиною системи телеконтролю й телеуправління МГ що розробляють на запорізькому підприємстві «Хартрон» (система «Хортиця») й інститутом НДПАСУтрансгаз (м. Харків).

## РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ В МІСЬКИХ УМОВАХ

Мета розрахунку визначення параметрів катодних станцій, необхідних для забезпечення захисного потенціалу на всіх спорудах, розміщених у зоні дії установок електрохімічного захисту, що мають контрольовані і неконтрольовані металеві з'єднання, які забезпечують електричну провідність.

Основним розрахунковим параметром є середня густина захисного струму – відношення струму катодної станції до сумарної поверхні трубопроводів, яку захищає дана установка.

Вихідними даними для розрахунку катодного захисту є параметри проектних споруд і питомий опір ґрунту по трасі.

Поверхня трубопроводів, які мають контакт з газопроводом, визначають за формулою

$$S = \pi \sum (d \cdot l), \quad (12)$$

де  $S$  — поверхні газопроводів, водопроводів, теплопроводів  $\text{м}^2$ ;

$D$  — діаметри газопроводів, водопроводів, теплопроводів, м;

$l$  — довжина ділянок газопроводів, водопроводів, теплопроводів, м.

Послідовно визначають поверхні газопроводів  $S_g$ , водопроводів  $S_b$ , теплопроводів  $S_t$ , які прокладають в каналах.

Сумарна поверхня всіх трубопроводів, електрично-зв'язаних між собою, дорівнює:

$$\sum S = S_g + S_b + S_t \quad (13)$$

Таблиця 7

Назва і тип	Номінальна потужність, кВт	Максимальна напруга, В	Максимальний струм, А	Джерело живлення	ККД, %	Виконання	Захист від зовнішнього середовища	Параметри
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i><b>А. Автоматичні СКЗ</b></i>								
Перетворювачі автоматичні, сітьові й теристорно-діодні агрегати								
1. ПАСК-М; ТДЕ-9	1,2	48/24	12,5/25	220 В	65 (ПАСК) 63 (ТДЕ)	ПАСК-М-У-1 ТДЕ-ХЛ-1; 93	ІР 23 захист від дощу під кутом 60	4000 г. без проведення ремонтів
2. Те саме	2,0	96/42	21/42	220В	70 75	Те саме	ІР 23	те саме
3.	3,0	96/48	32/63	220В	65 67	Те саме	ІР 23	те саме
4.	5,0	96/48	20/104	220В	80 68	Те саме	ІР 23	те саме
Автоматичні регулятори струму й потенціалу захисту								
5. АРТЗ-1,2 АРПЗ-1,2	1,2	48/24	25/50	220В	85 83	VI	близько захисне виконання з підвищенням захистом	Р=0,965 за 2 п.г
6. АРТЗ; АРПЗ-2	2,0	96/48	21/42	220В	85 83		те саме	те саме

Продовження табл.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7. АРТЗ; АРПЗ-3	3,0	96/48	32/62	220В	85 83	VI	те саме	те саме
8. АРТЗ; АРПЗ-5	5,0	96/48	52/104	220В	85 83	VI	те саме	те саме
<b><i>Б. Неавтоматичні станції катодного захисту</i></b>								
Перетворювачі сітьові								
1. ПСК-М	1,2	48/24	25/50	220В	60	VI	IP 23 захист від дощу під кутом 60	4000 г. без проведення ремонтів
2. Те саме	2,0	96/48	21/42	220В	65	VI	те саме	те саме
3. Те саме	3,0	96/48	31/62	220В	70	VI	те саме	те саме
4. Те саме	5,0	96/48	52/104	220В	75	VI	те саме	те саме
Станції катодного захисту трубопроводів					68			
5. СКЗТ-1500	1,5	60/30	25/50	220В	65	VI	IP 23	
6. СКЗТ-3000	3,0	60/30	50/100	220В	65	VI	IP 23	
7. СКЗ-М АКХ (модернізова на)	5,0	96/48	52/100	220В	73	VI	IP 23	
8. Пристрій катодного захисту, високовольт ний УКЗВ	4/8	48/24/23	100/200/400	6/10кВ		VI	IP 23	
9. Те саме, низьковольт ний УКЗН	4/8	48/24/12	100/200/400	220В		VI	IP 23	



Визначають питому вагу поверхні кожної споруди в загальній їх масі: водопроводів

$$B = \frac{S_B}{\sum S} \cdot 100 \%;$$

теплопроводів

$$T = \frac{S_T}{\sum S} \cdot 100 \%;$$

газопроводів

$$g = \frac{S_g}{\sum S} \cdot 100 \%$$

Визначають густину поверхні кожного з трубопроводів що приходиться на одиницю поверхні території захисного району, м<sup>2</sup>/га:

для водопроводів

$$v = \frac{S_B}{S_{TEP}};$$

для теплопроводів

$$t = \frac{S_T}{S_{TEP}};$$

для газопроводів

$$g = \frac{S_g}{S_{TEP}};$$

де  $S_{TEP}$  — площа території, на якій прокладені трубопроводи, м<sup>2</sup>.

Середню густину струму, необхідного для захисту трубопроводів (мА/м<sup>2</sup>), визначають за формулою

$$i = 30 - (99B + 128 \cdot T + 33.9g + 3.33v + 0.61t + 4.96\rho) \cdot 10^{-3}, \quad (14)$$

де  $\rho$  — питомий опір ґрунту, Ом м.

У випадку, коли немає теплопроводів, значення коефіцієнтів  $T$  і  $t$  дорівнює нулю. Аналогічно коефіцієнти « $B$ » і  $v$  дорівнюють нулю при відсутності водопроводів.

Якщо захищають тільки газопровід, тоді середня густина струму (мА/м<sup>2</sup>) визначають за формулою

$$i = 20,1 + (99 - 33,9g - 4.96\rho) \cdot 10^{-3} \quad (15)$$

Якщо значення середньої густини струму, одержане за формулами, менше 6 мА/м<sup>2</sup>, у подальших розрахунках необхідно приймати  $i = 6$  мА/м<sup>2</sup>.

Сумарний захисний струм для забезпечення катодної поляризації підземних споруд, розміщених уданому районі (А):

$$I = 1,3 \cdot i \cdot \sum S, \quad (16)$$

де  $I$  — середня густина струму, А/м<sup>2</sup>;  
 $\sum S$  — сумарна поверхня всіх трубопроводів, м<sup>2</sup>.

Кількість катодних станцій визначають з умов оптимального розміщення анодів (наявність площадок для розміщення анодів), наявності джерел живлення, а також з урахуванням того, щоб сила струму катодної станції не була більше 25 А.

Тому кількість катодних станцій визначають приблизно:

$$n = \frac{I}{25} \quad (17)$$

Після розміщення катодних установок на поєднаному плані перевіряють зону дії кожної установки. Для цього перевіряють радіус дії катодної установки.

$$R_{\text{КАТ.ЗАХ}} = 60 \sqrt{\frac{I_{\text{КС}}}{i \cdot K}}, \quad (18)$$

де  $I_{\text{КС}}$  - струм катодної станції, для якої визначають радіус дії, А.  
Приймають за характеристикою КС, вибраною в довіднику;

$K$  питома густина споруд

$$K = \frac{\sum S}{S_{\text{ТЕР}}} \quad (19)$$

### Приклад

Визначити параметри катодного захисту підземних споруд на території ділянки міської мережі – кварталу житлової забудови площею 12 га (400x300м).

Вихідні дані: сумісний геодезичний план території району в масштабі 1:500 з нанесеними підземними спорудами. Корозійна активність ґрунту  $\rho_r = 20$  Ом м.

На території району захисту розміщені газопроводи низького й середнього тиску, теплопроводи й водопроводи.

### Характеристика трубопроводів

Водопроводи		Газопроводи		Теплопроводи	
273	100	219	540	219	155
159	250	159	425	133	135
108	140	133	343	102	260

1. Визначаємо поверхні трубопроводів (газо-, водо-, тепло-):

$$S_z = 3,14 \times (0,219 \times 540 + 0,159 \times 425 + 0,133 \times 343) = 727,3 \text{ м}^2$$

$$S_B = 3,14 \times (0,273 \times 100 + 0,159 \times 250 + 0,108 \times 140) = 258,2 \text{ м}^2$$

$$S_T = 3,14 \times (0,219 \times 155 + 0,133 \times 135 + 0,102 \times 260) = 78,4 \text{ м}^2$$

$$\sum S = 727,3 + 258,2 + 78,4 = 1064 \text{ м}^2$$

2. Визначаємо питому вагу поверхні кожного трубопроводу в загальній їх масі (%):

$$z = \frac{727,3}{1064} \cdot 100 = 69;$$

$$B = \frac{258,2}{1064} \cdot 100 = 24;$$

$$T = \frac{78,4}{1064} \cdot 100 = 7;$$

3. Визначаємо густину поверхні кожного трубопроводу:

$$g = \frac{727,3}{12} = 60,6 \text{ м}^2 / \text{га};$$

$$v = \frac{258,2}{12} = 21,5 \text{ м}^2 / \text{га};$$

$$t = \frac{78,4}{12} = 6,5 \text{ м}^2 / \text{га};$$

Середня захисна густина струму:

$$I = 30 - (99 \times 24 + 128 \times 7 + 33,9 \times 60,6 + 3,33 \times 21,5 + 0,61 \times 6,5 + 4,96 \times 20) 10^{-3} = 24,5 \text{ мА/м}$$

4. Сумарний захисний струм:

$$I = 1,3 \cdot 0,0245 \cdot 1064 = 33,9 \text{ А}$$

5. Кількість катодних станцій:

$$n = \frac{33,9}{25} = 1,34$$

Приймаємо 2 катодні станції ПСК-М-1,2 зі струмом по  $I_{\text{КС}} = 25/50$ , напругою  $U = 48/24$ , потужністю  $N = 1,2$  кВт з урахуванням 50% запасу на розвиток мережі

6. Знаходимо радіус дії катодної установки. Для цього визначаємо К.

$$K = \frac{1064}{12} = 88,7$$

$$R_{\text{КАТ.ЗАХ.}} = 60 \sqrt{\frac{25}{0.0245 \cdot 88.7}} = 203 \text{ м.}$$

Одержані радіуси дії катодної станції охоплюють усю територію району захисту.

За табл. 4 обираємо анодне заземлення з чавунних труб  $d=150$  мм,  $I=10$  м, опором розтіканню  $R=0,42$  Ом у кількості  $n=6$ .

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Крижанівський Є.І., Гончарук М.А., Разумний Ю.Т., Рибчич І.Й., Фик І.М. Енергетична безпека держави: високоефективні технології видобування, постачання і використання природного газу. К.: «Інтерпрес ЛТД», 2006. Бібліогр. 291 іст.
2. Дячук В.В., Бікман Є.Є., Кисельова С.О. Проектування розробки та облаштування газових (газоконденсатних) родовищ. Навч. посібник. За загальною редакцією Редько О.Ф. Х.: «Бурун і К», 2009.
3. Дячук В.В. Основи розробки та облаштування родовищ природних газів: Навчальний посібник.- Х.: «Бурун і К». -2005.
4. Розгонюк В.В., Хачикян Л.А., Григіль М.А. та ін. Експлуатаційникові газонафтового комплексу. Довідник. К.: «Росток», 1998.
5. Хизгилов И.Х. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов на нефтебазах и нефтепродуктопроводах.-М.: «Недра», 1988.
6. Дизенко Е.И., Новоселов В.Ф., Тугунов П.И., Юфин В.А. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров.-М.: «Недра», 1978.
7. Инструкция по проектированию и расчету ЭХЗ МГ и промышленных объектов.- М.: ВНИИСТ, 1980.
8. Бабин Л.А., Быков Л.И., Волков В.Я. Типовые расчеты по сооружению трубопроводов.-М.: «Недра», 1979.
9. Газовое оборудование, приборы и арматура: Справочное пособие /Под ред Н.И.Рябцева -3-е издание., перераб. И доп.-М.: «Недра», 1976, 368с.
10. Каспарьянц К.С. Промысловая подготовка нефти и газа. М.: «Недра», 1973.
11. Требин Ф.А., Макогон Ю.Ф., Басниев К.С. Добыча природного газа. М.: «Недра», 1976.
12. Рудин М.Г. Карманный справочник нефтепереработчика. -Л.: «Химия», 1989.
13. Шишкин Г.В. Справочник по проектированию нефтебаз. Л.: «Недра», 1978.
14. Бараз В.И. Сбор газа на нефтяных промыслах. М.: «Недра», 1984.
15. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. М.: «Недра», 1983.
16. Попов В.И., Хорошилов В.А. Осушка газа. М.: «Недра», 1972.
17. Лутошкин Г.С., Дунюшкин И.И. Сборник задач по сбору и подготовке нефти, газа и воды на промыслах. Учебное пособие для вузов. М.: «Недра», 1985.
18. Зайцев Ю.В., Балакиров Ю.А. Добыча нефти и газа. М., «Недра», 1981.
19. Клюк Б. Газонафтопроводы: оптимізація їх спорудження, експлуатації та захист природи. Х.: Укрндігаз, 2000.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ.....	4
ОСНОВНІ ТЕРМІНИ.....	4
ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	10
РОЗРАХУНОК КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ТРУБОПРОВОДІВ ВІД КОРОЗІЇ.....	15
РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ В МІСЬКИХ УМОВАХ.....	23
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	29

# НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання самостійно роботи  
з дисципліни

## «Електрохімія і захист від корозії»

(для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки  
0926 “Водні ресурси” (6.060103 «Гідротехніка (водні ресурси)»))

Укладачі: **Нестеренко** Сергій Вікторович  
**Донський** Дмитро Федорович

Відповідальний за випуск *І. С. Зайцева*

Редактор *З. М. Москаленко*

Комп’ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 115 М

---

Підп. до друку 17.02.2010  
Друк на ризографі.  
Зам. №

Формат 60 x 84 1/16  
Ум. друк. арк. 1,6  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи:  
ДК №731 від 19.12.2001