

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ХІМІЯ 2. ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 144 «Теплоенергетика»,
освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та інжиніринг
теплоенергетичних систем»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Хімія 2. Хімічні технології в енергетиці: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика», освітньої програми «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. Ю. Козар, Л. С. Зубченко, О.Я.Боровик–Електронні текстові дані (1 файл: 0,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 57 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 6 від 31.01.2020 р.) за поданням Вченої ради Факультету біотехнології і біотехніки (протокол № 4 від 25.11.2019 р.)

Електронне мережеве навчальне видання

ХІМІЯ 2.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Укладачі: *Козар Марина Юріївна, канд. техн. наук,
Зубченко Людмила Сергіївна, канд. техн. наук,
Боровик Оксана Ярославівна*

Відповідальний редактор *Кузьмінський Є.В., д.х.н. проф*
Рецензент *Галкін О.Ю., д.б.н., проф*

Лабораторні роботи, представлені в практикумі призначені для ознайомлення студентів з основами хімічного аналізу якості твердого та рідкого палива, води, що використовується в теплотехнічному та енергетичному обладнанні. В лабораторному практикумі приведені типові методики, які використовуються для визначення вологості та зольності твердого палива, визначення основних показників біодизеля – вмісту води, кислотного та йодного числа, а також визначення твердості води.

Лабораторний практикум Хімія 2. Хімічні технології в енергетиці розроблений для студентів спеціальності «Теплоенергетика».

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

Зміст

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1	
Оцінка якості твердого палива	5
Лабораторна робота 2	
Визначення твердості води.....	12
Лабораторна робота 3	
Оцінка якості біодизельного палива.....	22
Лабораторна робота 4	
Вимірювання електрорушійної сили гальванічних елементів	27
Техніка безпеки та охорона праці при роботі в лабораторії.....	33
Додатки.....	51

Вступ

Навчальна дисципліна Хімія 2. Хімічні технології в енергетиці є важливою складовою навчальної програми студентів спеціальності «Теплоенергетика».

Метою лабораторного практикуму є ознайомлення студентів з хімічним складом та властивостями енергетичної сировини та освоєння практичних методик, що використовуються для аналізу сировини та допоміжних матеріалів в енергетиці.

Теоретичний матеріал та практичні методи, приведені в посібнику базуються на фундаментальних знаннях, отриманих в дисциплінах циклу загальної підготовки.

За структурою лабораторний практикум поділений на чотири частини, які присвячені аналізу твердого палива, рідкого біопалива, електрохімічних джерел енергії, а також води, яка використовується в енергетиці.

У теоретичних відомостях, представлених в посібнику, стисло, проте вичерпно, подано інформацію, щодо хімічного підґрунтя методів, що використовуються.

В Україні у великій кількості використовується тверде та рідке паливо як для промислового виробництва енергії, так і для дрібних енергетичних установок. Економічна та енергетична ефективність виробництва енергії напряму залежить від якості палива. В лабораторному практикумі приведено загальний хімічний склад твердого палива та методи визначення його основних показників, які дають змогу зробити висновок про можливість використання та енергетичну цінність.

У великій кількості вода використовується в енергетиці, проте для технологічних потреб вода має відповідати певним вимогам, зокрема за хімічним складом. Розглянуто основні хімічні сполуки, які зумовлюють твердість води та методика визначення загальної та карбонатної твердості, а також основні методи зниження твердості води.

Електрохімічні джерела енергії є доволі перспективними та затребуваними в сучасній енергетиці. Тому основи електрохімії є важливим складником курсу. Наведено основи електрохімічних процесів, що відбуваються в гальванічних елементах. Розглянуто типові гальванічні елементи та основні залежності для розрахунку електрорушійної сили цих елементів.

В навчальний посібник включено додатки, що містять необхідні довідкові дані для проведення розрахунків та статистичної обробки експериментальних даних та правила техніки безпеки при роботі в хімічній лабораторії.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1
ОЦІНКА ЯКОСТІ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

Мета: Провести аналіз якості деревного вугілля, деревини та паливних гранул як палива.

Обладнання, матеріали та реактиви: муфельна піч, сушильна шафа, електрична плитка, аналітичні ваги, ексікатор, бюкси, тиглі, щипці, паливні гранули, лінійка, 3%-й розчин H_2O_2 .

Теоретичні відомості

Тверде паливо складається з горючої або органічної маси та баласту, до якого відносяться волога і мінеральні речовини, які після спалювання палива утворюють золу. Органічна маса палива – складний за складом продукт глибокого перетворення рослинного матеріалу, який включає Карбон, Гідроген, Оксиген, Нітроген і Сульфур. Однією із найбільш важливих характеристик твердого палива є вихід летких речовин, які утворюються при спалюванні, а також склад і вміст нелеткого залишку. До складу мінеральних домішок входять головним чином карбонати, силікати, фосфати, сульфідні і сульфатні феруму, кальцію, алюмінію, калію, натрію, а також деякі інші хімічні сполуки різних елементів [1].

Технічний аналіз твердого палива разом з даними елементарного аналізу дає перше загальне уявлення про його склад і технічну цінність. Як правило, технічний аналіз зводиться до визначення вологості W , зольності A , виходу летких речовин V , вмісту сірки S і теплотворної здатності Q . Ці показники визначають для певного стану палива: робочого, повітряного або абсолютно сухого. Робочим називається таке паливо, яке не піддавалося сушінню. Результати технічного аналізу, розраховані по відношенню до такого палива, позначаються W^p , A^p , V^p і т.д.

Повітряно-сухим називається паливо, яке одержують в результаті просушування лабораторної проби за $70\text{--}75\text{ }^\circ\text{C}$ в сушильній шафі, а потім при кімнатній температурі на повітрі. У цьому випадку вологість палива буде визначатись його гігроскопічністю. Дані технічного аналізу при цьому позначаються W^c , A^c , V^c тощо [1-3].

Абсолютно сухим називається паливо, яке одержують в результаті просушування лабораторної проби за $105\text{ }^\circ\text{C}$ до постійної маси. Зольність і кількість летких речовин розраховані на абсолютно сухе паливо, позначають відповідно, A^a , V^a .

В деяких випадках кількість летких речовин, розраховують відносно органічної маси палива (горюча частина палива) і позначають через V^f .

Хід роботи

Волога у твердому паливі і методика її визначення

Волога, що входить до складу твердого палива, може бути у різних формах. Розрізняють зовнішню, гігроскопічну і хімічно зв'язану вологу.

Зовнішня волога, як правило, покриває зерна вугілля чи частинки деревини у вигляді тонкої плівки, яка утримується за рахунок фізико-механічних взаємодій. Вміст зовнішньої вологи залежить від здатності поверхні частинок палива до змочування, ступеня подрібнення палива, питомої площі поверхні частинки. Така волога виділяється при приведенні палива до повітряно-сухого стану.

Гігроскопічна (капілярна) волога поглинається паливом з навколишнього середовища за рахунок процесів адсорбції, утримується за рахунок фізико-хімічних взаємодій і залежить від відносної вологості і температури середовища. До гігроскопічної відносять капілярну вологу, що утримується у дрібних порах та капілярах частинок палива.

Хімічно зв'язана волога входить до складу палива або до складу мінеральних домішок, що містяться у ньому у вигляді кристалізаційної води та колоїдної вологи, і називається внутрішньою або конституційною. Кристалізаційна волога видаляється при нагріванні палива до високих температур – 600 °С і вище. Колоїдну вологу видаляється в процесі просушування при 102 – 105 °С. Колоїдну вологу також відносять до гігроскопічної, оскільки її вміст у паливі визначається процесами адсорбції води органічною складовою палива, яка утворює з водою стійкий колоїд [2].

Вміст вологи у твердому паливі коливається у широкому діапазоні від 1% до 40% в залежності від типу палива, походження, способу отримання, умов зберігання тощо.

Наявність вологи у твердому паливі небажана, оскільки:

- знижує теплотворну здатність палива,
- збільшує непродуктивні витрати при транспортуванні;
- для вугілля утруднює збагачення (значно знижує швидкість коксування і, як наслідок, продуктивність коксових печей);
- зовнішня волога може призводити до змерзання вугілля при низькій температурі.

Вологість палива може бути визначена прямим, непрямим або опосередкованим шляхом [2].

Прямий ваговий метод визначення вмісту вологи. При визначенні вологості прямим ваговим методом наважку палива висушують в потоці інертного газу (як правило азоту) при 105–110 °С, а виділені пари води

поглинають хлористим магнієм або сірчаною кислотою. При цьому газ пропускають через дві ємності (трубки) з поглиначем: основну, в якій поглинається основна частина вологи, і контрольну, в якій уловлюються залишки (сліди) вологи. За збільшенням маси поглинача розраховують вміст вологи у паливі за формулою:

$$W = \frac{G_1 + G_2}{G} \cdot 100,$$

де G_1 – збільшення маси основної трубки з хлористим магнієм, г;

G_2 – збільшення маси контрольної трубки з хлористим магнієм, г;

G – наважка палива, г.

Збільшення маси основної та контрольної трубки визначається як:

$$G_1 = G_{1x} - G_{10},$$

$$G_2 = G_{2x} - G_{20},$$

де G_{1x}, G_{2x} – кінцева маса основної та контрольної трубки відповідно, г;

G_{10}, G_{20} – початкова маса та контрольної трубки відповідно, г.

Прямий об'ємний метод визначення вмісту вологи. При визначенні вмісту вологи у твердому паливі прямим об'ємним методом наважку досліджуваного палива поміщають в колбу з толуолом (або ксилолом), нагрівають з подальшою відгонкою парів води, які виділяються із вугілля, разом з парами толуолу. Після охолодження парова суміш толуолу та води конденсується та розшаровується (через гідрофобні властивості толуолу). Після розшарування заміряють об'єм води, який отримали в результаті перегонки.

Непрямий метод визначення вологи висушуванням до постійної маси. Вміст вологи для бурого і кам'яного вугілля, антрацитів і горючих сланців, а також деревини та продуктів її переробки визначають методом висушування наважки палива за 105–110 °С до постійної маси у сушильній шафі. Вміст вологи в паливі визначається за зменшенням маси вихідної наважки після висушування до постійної маси.

Для визначення вологості в попередньо просушений та зважений бюксносять 1–2 г досліджуваного палива (зваженого на аналітичних вагах з точністю до 0,01 г), розміри частинок якого не повинні перевищувати 0,21 мм. Висота шару палива у бюксі не повинна бути більша 5 мм. Наважку розрівнюють легким струшуванням і висушують в попередньо нагрітій сушильній шафі при 105–110 °С. При цьому кришка бюкса повинна бути відкрита. Тривалість сушки для бурого вугілля 90 хв., антрацитів – 120 хв.; для інших видів палива – 50–60 хв. Після проходження вказаного часу бюкс з наважкою палива виймають із сушильної шафи, щільно закривають

кришкою, охолоджують спочатку на повітрі (2–3 хв), а потім в ексікаторі до кімнатної температури і зважують. Потім бюкс з наважкою повторно ставлять у сушильну шафу, сушать ще 30 хв, охолоджують в ексікаторі і знову зважують. Висушування і зважування повторюють до досягнення постійної маси. Відхилення між двома послідовними зважуваннями не повинно перевищувати 0,0002 г. Якщо при наступному зважуванні спостерігається збільшення маси (що може відбуватися в результаті окиснення вугілля), то для розрахунку використовують передостаннє значення.

Відсотковий вміст вологи в досліджуваному паливі розраховують за формулою:

$$W = \frac{a-b}{a} \cdot 100,$$

де W – вміст вологи, %;

a – маса наважки палива до сушіння, г;

b – маса палива після висушування, г.

Допустима розбіжність між двома паралельними визначеннями має бути не більше 0,3 %. Розрахунок результатів аналізу ведуть з точністю до 0,01 %.

Опосередковані методи визначення вологості. Принцип роботи автоматичних вологомірів заснований на визначенні певних фізичних параметрів твердого палива, які змінюються в залежності від його вологості. Для вимірювання вологості твердих речовин найчастіше використовують ємнісні та кондуктометричні вологоміри. Ємнісні вологоміри фіксують зміну діелектричної проникності зразка в залежності від вмісту води у ньому. Зміна вологості досліджуваного зразка призводить до зміни ємності вихідної напруги приладу.

За допомогою кондуктометричних вологомірів можна визначити вологість сировини на основі значення її провідності. Проте, використання таких приладів можливе для палива, вологість якого не перевищує 30%. Подальше збільшення вологості призводить до зменшення точності вимірювання. Крім того, не варто використовувати, кондуктометричні вологоміри при нерівномірному розподілі вологи у зразку, оскільки щупи приладу проникають лише у верхній шар зразка. За умови правильного використання похибка для цього приладу не перевищує 1 – 1,5%.

Існують також вологоміри, принцип роботи яких базується на явищі ядерного магнітного резонансу – резонансному поглинанні радіохвиль надвисокочастотного діапазону ядрами водню, які входять до складу води.

Зола у твердому паливі та методика визначення вмісту золи

Мінеральні домішки, які утворюють золу, є ще більш шкідливим баластом в складі палива, ніж волога. Крім збільшення витрат при транспортуванні, перевантаженні і т.п., підвищена зольність вугілля значно ускладнює його використання як палива і як хімічної сировини.

Мінеральні домішки при згорянні палива змінюють свій початковий склад і властивості. Високий вміст золи у вугіллі збільшує необхідну частоту чистки печей. При застосуванні високозольного коксу у доменному процесі зростає не тільки розхід самого коксу, але і флюсів, які використовують для шлакування золи [1].

За походженням золу, яка входить до складу твердих горючих корисних копалин, поділяють на “внутрішню” (конституційну і наносну) та “зовнішню”.

“Внутрішня” зола – це та частина мінеральної складової золи, що утворилася з самої материнської породи рослин і є хімічно зв’язана з органічною частиною палива (конституційна) та мінеральні речовини з навколишнього середовища, такі як пил, пісок, глина, вапняк тощо, що потрапили у паливо в процесі його формування (наносна).

“Зовнішньою” золою називають частину золи, яка потрапляє у паливо при розробці родовища корисних копалин або знаходиться у пласті породи у вигляді прошарків і включень гірських порід [1-3].

Методика визначення вмісту золи у твердому паливі

Для визначення золи наважку аналізованого твердого палива озолують до постійної маси шляхом прожарювання у муфельній печі.

Для антрациту, бурого і кам’яного вугілля прожарювання проводять при температурі 800 ± 25 °С, для сланців – 850 ± 25 °С, для деревини – 575 ± 25 °С. Більш висока температура при аналізі сланців необхідна через високий вміст карбонатів у мінеральній частині, повний розклад яких потребує більш високої температури [2].

Для визначення вмісту золи в попередньо зважений на аналітичних вагах фарфоровий тигель поміщають наважку палива $1 \pm 0,1$ г і ставлять його в муфельну піч (для пришвидшення аналізу муфельну піч можна попередньо розігріти до $250 - 300$ °С). Після цього температуру в муфельній печі поступово піднімають протягом 1–1,5 год. до необхідної (800 ± 25 °С для вугілля, 850 ± 25 °С для сланців або 575 ± 25 °С для деревини). Тигель з паливом пропалюють при цій температурі протягом 1–2 год., після чого виймають із муфеля і охолоджують спочатку на повітрі на протязі 5 хв., а потім в ексикаторі до кімнатної температури. Охолоджений тигель зважують на аналітичних вагах з точністю до 0,0002 г.

Для одержання більш надійних результатів після першого зважування зольні залишки прожарюють (по 30 хв) доти, поки різниця між двома послідовними зважуваннями не буде менше 0,001 г. Якщо маса зросла, то для розрахунку використовують попереднє значення.

Зольність палива визначають за формулою:

$$A^c = \frac{G_1 \cdot 100}{G}$$

де A^c – зольність палива, %;

G_1 – маса зольного залишку, г;

G – наважка палива, г.

Перерахунок зольності на абсолютно сухе паливо $-A^c$ (%) і робоче паливо A^p (%) проводять за формулами:

$$A^a = A^c \frac{100}{100 - W^a}$$

$$A^p = A^c \frac{100 - W^p}{100 - W^c}$$

де A^a – зольність абсолютно сухого палива, %;

A^p – зольність робочого палива, %;

W^c – вміст води в досліджуваній аналітичній пробі, %;

W^p – вміст води в робочому паливі, %.

Допустимі розбіжності між результатами двох паралельних визначень – 0,2% для палива, зольність якого менше 12 %; 0,3 % для палива зольність якого вища 25 %.

Завдання: провести технічний аналіз різних видів твердого палива. на основі літературних даних визначити параметри показників для палива різної якості. Порівняти отримані показники зі значеннями показників для палива високої якості. Зробити висновки про якість палива.

Контрольні запитання:

Які показники впливають на якість твердого палива?

Які види води розрізняють у складі твердого палива?

Яке паливо називають робочим, повітряно-сухим, абсолютно сухим?

Як визначається зольність твердого палива?

Що таке зольність, які види зольності ви знаєте?

Які методи визначення вологості твердого палива ви знаєте?

Рекомендована література:

1. Основи хімії і фізики горючих корисних копалин: підручник. / В. І. Саранчук, М. О. Ілляшов, В. В. Ошовський, В. С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. –640 с.
2. Основи технічного аналізу вугілля: навч. посіб. / О.Ю. Светкіна, О.Б. Нетяга, Г. В. Тарасова, С. М. Лисицька – Дніпро : НГУ, 2017. – 111с.
3. Хімія деревини: підручник для ВНЗ. – 2-е вид., випр. і доп. / О. П. Гупало, О. П. Тушницький. – К.: Знання, 2008. – 276 с.

Лабораторна робота №2 ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ВОДИ

Мета: Визначити загальну, карбонатну і некарбонатну твердість води

Обладнання, матеріали та реактиви: стандартний розчин ЕДТА (Трилон Б), 0,05 н титрований розчин; аміачний буферний розчин з рН 10 (20 г NH_4Cl , 100 мл 25% NH_4OH); розчин соляної кислоти, 0,01 н титрований розчин; водний розчин метилоранжу 0,1%; металоіндикатор – еріохромовий чорний Т (суміш з хлоридом натрію в співвідношенні 1:100) або хромтемносиній; фосфат натрію, 0,03 н; карбонат натрію, 0,03 н; колби конічні для титрування, бюретки, піпетки

Теоретичні відомості

Більше 50% від промислового споживання води в Україні використовується в енергетиці, з яких до 98% води використовується на охолодження. Решта води використовується як робоче тіло, теплоносій, уповільнювач нейтронів, розчинник, транспортер твердих продуктів тощо. Для того, щоб виробити 1 кВт·год енергії використовується до 0,18 т води.

Для водопостачання об'єктів енергетики в більшості випадків використовують природні води: як поверхневі так і підземні. Також останнім часом у зв'язку з дефіцитом води енергооб'єкти використовують воду циркуляційних систем підприємств і малозабруднені стічні води.

Вода з будь якого джерела водопостачання містить різноманітні органічні і неорганічні речовини, що потрапляють в неї в процесі природного колообігу речовин та внаслідок антропогенної діяльності людини. Часто поверхневі води характеризуються значним забрудненням, що надходить в них з недостатньо очищеними побутовими та промисловими стічними водами.

Для електростанцій вода є вихідною сировиною, яка після належного очищення використовується для наступних цілей:

- а) як вихідна речовина для одержання пари в казанах, парогенераторах, ядерних реакторах киплячого типу, випарних установках, пароперетворювачах;
- б) для конденсації відпрацьованої пари в парових турбінах;
- в) для охолодження різних апаратів і агрегатів ТЕС і АЕС;
- г) як теплоносій у теплових мережах і системах гарячого водопостачання.

Забезпечення високої якості підготовки води на ТЕС, ТЕЦ і АЕС є важливим завданням, оскільки використання водного теплоносія високої

якості спрощує одержання чистої пари, зменшує швидкість корозії конструктивних матеріалів казанів, турбін і устаткування конденсатно-випарної системи.

При недостатній очистці води, яка надходить в цикл водокористування електростанції, відбувається відкладення осаду на поверхнях нагрівання обладнання та у трубопроводах, що впливає на процеси теплопередачі, інтенсивність яких важлива для забезпечення встановлених технологічним процесом характеристик роботи обладнання електростанцій.

Осідання нерозчинних сполук феруму, кальцію та магнію, що утворюються при нагріванні на стінках та робочих поверхнях обладнання у вигляді шламу, призводить до потовщення стінок котлів та іншого обладнання, зменшення діаметру трубопроводів, засмічення токноструйного обладнання, спінювання води та засмічення пари частинками осаду. Як наслідок, накипні відкладення, що утворюються, знижують теплопродуктивність, підвищують теплові втрати, призводять до втрат напору в трубах, призводять до підвищення тиску в парогенеруючому обладнанні. Через осад може відбуватися перегрів окремих ділянок обладнання, що може призвести до утворення тріщин. Навіть у теплообмінній апаратурі, що працює при 25 – 50 °С, виникають низькотемпературні відкладення, основним компонентом яких є карбонат кальцію $CaCO_3$. Особливої уваги і контролю потребують процеси утворення накипних відкладень в теплових агрегатах за умови експлуатації ТЕЦ при високих теплових навантаженнях, які нині спостерігаються на більшості електростанцій України.

Правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж встановлені вимоги до режиму експлуатації установок водопідготовки та водно-хімічного режиму обладнання та мереж, що мають на меті забезпечити роботу електростанцій і підприємств теплових мереж без ушкоджень, що можуть бути викликані корозією внутрішніх поверхонь і утворенням накипу; та попередити зниження економічності (пов'язаної з використанням енергетичних ресурсів) та ефективності роботи обладнання, регламентованої енергетичними характеристиками устаткування.

Вимоги до якості води залежать від типу устаткування, що використовують, та режиму його роботи і варіюють від простого видалення завислих речовин і солей твердості для тепломереж і парових котелень до глибокого знесолення з видаленням органічних забруднень і розчинених газів (ТЕС, АЕС).

Найважливішими показниками якості води, що визначають придатність її при використанні для пиття, у промисловості та енергетиці, є:

1. вміст завислих речовин;
2. вміст солей (сухий залишок, загальна мінералізація);
3. загальна твердість;
4. окиснюваність (вміст органічних речовин);
5. лужність;
6. концентрація водневих іонів – рН;
7. вміст корозійно-активних газів (CO_2 і O_2).

Для задоволення вимог до якості води, яка споживається при виробництві електричної й теплової енергії, виникає необхідність її спеціальної фізико-хімічної обробки. В залежності від призначення води та її початкової якості обирають відповідну технологічну схему її обробки або очистки. Нині нові електростанції проектують із замкнутою системою оборотного охолодження, що спрощує процес водопідготовки та значно скорочує об'єми води, що залучаються з джерел водокористування та потребують складної очистки [1].

Твердість як показник якості води

Одним з основних показників якості води, який може негативно впливати на роботу обладнання, є твердість.

Твердість води зумовлюється присутністю катіонів кальцію, магнію, феруму та важких металів. Проте, оскільки вміст кальцію і магнію значно перевищує вміст інших катіонів, то зазвичай висновки про твердість води роблять на основі визначення вмісту Ca^{2+} і Mg^{2+} .

Твердість води, що зумовлена присутністю гідрокарбонатів кальцію ($Ca(HCO_3)_2$), магнію ($Mg(HCO_3)_2$) та феруму ($Fe(HCO_3)_2$) називають *карбонатною твердістю води* (T_K). При кип'ятінні води гідрокарбонати перетворюються в нерозчинні карбонати, які випадають в осад. Таким чином, при кип'ятінні води знижується карбонатна твердість. Твердість води, що усувається при кип'ятінні називається *тимчасовою*. Проте, варто зауважити, що тимчасова твердість не є повним аналогом карбонатної, оскільки певна кількість іонів CO_3^{2-} , може залишатися у воді і після кип'ятіння.

Твердість води, що залишається після кип'ятіння, називається *постійною твердістю*.

Некарбонатна твердість води (T_{HK}) зумовлюється присутністю у воді розчинних солей кальцію і магнію: сульфатів ($CaSO_4$, $MgSO_4$) хлоридів ($CaCl_2$, $MgCl_2$), нітратів ($Ca(NO_3)_2$, $Mg(NO_3)_2$) та інших [2, 3].

Загальна твердість води (T_3) дорівнює сумі карбонатної і некарбонатної твердості [2]:

$$T_3 = T_K + T_{HK}.$$

Кількісно твердість води визначається сумою молярних концентрацій еквівалентів іонів кальцію і магнію, виражених в ммоль/дм³ [2]:

$$T = \left[\frac{\nu\left(\frac{1}{z^*}Ca^{2+}\right)}{V(H_2O)} + \frac{\nu\left(\frac{1}{z^*}Mg^{2+}\right)}{V(H_2O)} \right] \cdot 10^3 \text{ (ммоль/дм}^3\text{)},$$

$$T = \frac{\nu\left(\frac{1}{z^*}X\right)}{V(H_2O)} \cdot 10^3 = \frac{m(X)}{M\left(\frac{1}{z^*}X\right) \cdot V(H_2O)} \cdot 10^3 \text{ (ммоль/дм}^3\text{)}.$$

де $\nu(1/z^*X)$ – кількість речовини еквівалента іонів кальцію або магнію (або їх солей), моль;

$m(X)$ – маса іонів кальцію або магнію (або їх солей), г;

$M(1/z^*X)$ – молярна маса еквівалента іонів кальцію або магнію (або їх солей), г/моль;

$V(H_2O)$ – об'єм води, дм³.

В природні джерела водопостачання гідрокарбонати кальцію і магнію потрапляють з ґрунтових вод [2]. Карбонати, що містяться в гірських породах та ґрунті, під дією води та вуглекислого газу, присутнього в повітрі та розчиненого в ґрунтових та поверхневих водах, перетворюються в розчинні гідрокарбонати, внаслідок чого твердість води підвищується:



Тверда вода непридатна для багатьох технологічних процесів. Нерозчинні солі кальцію і магнію осідають на внутрішніх стінках парових котлів і трубопроводів, утворюючи шар накипу, який погано проводить тепло. Це викликає перевитрати палива і передчасне псування котлів. У жорсткій воді значно швидше протікає процес корозії.

В таблиці 1 наведено значення твердості для різних типів природних вод.

Чинними санітарними нормами передбачено, що твердість питної води не повинна перевищувати 250 мг/дм³ CaCO₃, а твердість понад 500 мг/дм³ CaCO₃ вважається небезпечною для здоров'я.

Таблиця 1. – Типи природних вод за твердістю

Тип води	Твердість, ммоль екв/дм ³	Твердість		
		Ca ²⁺ , мг/дм ³	Mg ²⁺ , мг/ дм ³	CaCO ₃ , мг/дм ³
Дуже м'яка	0 – 1,5	0 – 30,06	0 – 18,24	0-75,00
М'яка	1,5 – 3,0	30,06 – 60,12	18,24 – 36,48	75,00-150,00
Середньо-тверда	3,0 – 4,5	60,12 – 90,18	36,48 – 52,72	150,00–225,00
Помірно тверда	4,5 – 6,5	90,18 – 130,26	52,72 – 79,04	225,00–325,00
Тверда	6,5 – 11,0	130,26–220,44	79,04 – 131,76	325,00–550,00
Дуже тверда	>11,0	>220,44	>131,76	>550,00

Зменшення твердості води (пом'якшення) зазвичай має на меті вилучення з води солей кальцію та магнію. В залежності від вимог, що висуваються технічними характеристиками обладнання, в якому вода буде використовуватися, застосовують різні методи пом'якшення, ефективність яких різна. За потреби для отримання води з низьким вмістом розчинних солей та газів проводять знесолення та дегазацію. Для видалення органічних сполук проводять окиснення з подальшим видаленням утворених продуктів.

Методи пом'якшення води

Термічний метод пом'якшення води [2, 3, 4]. Метод полягає в осадженні нерозчинних карбонатів Кальцію і Магнію, що утворюються з гідрокарбонатів при кип'ятінні з подальшим відділенням осаду, що утворився.

У випадку гідрокарбонату кальцію відбувається наступна реакція:



При високій температурі розчинність вуглекислого газу досить низька, тому він практично повністю видаляється з води, що зміщує рівновагу реакції в напрямку утворення нерозчинного карбонату.

З гідрокарбонату магнію при кип'ятінні спочатку утворюється розчинний карбонат:



При подальшому кип'ятінні, карбонат магнію перетворюється в нерозчинний гідроксид:

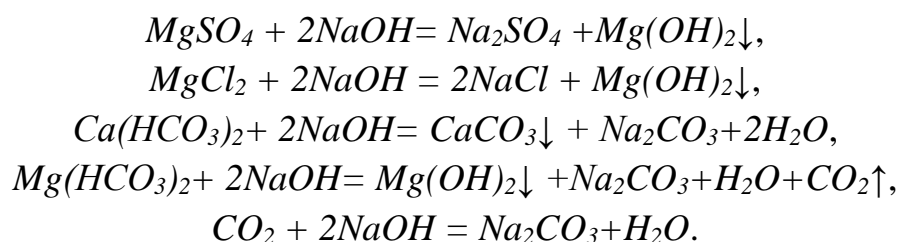


При використанні термічного методу пом'якшення води також знижується її твердість, що зумовлена сульфатом кальцію.

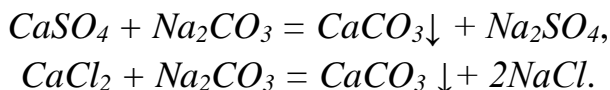
Реагентні методи пом'якшення води [2, 3, 4]. Метод заснований на обробці води реагентами, які утворюють нерозчинні сполуки з кальцієм та магнієм та подальшим відділенням осаду, що утворився.

Найпоширенішими реагентами є вапно, кальцинована сода, гідроксиди натрію і барію, оксалат натрію, ортофосфат натрію.

Наприклад, при використанні гідроксиду натрію відбуваються наступні реакції:



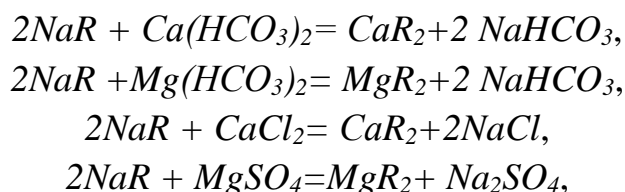
Карбонат натрію, що утворюється в реакціях як побічний продукт, також вступає в реакції, внаслідок яких відбувається додаткове осадження кальцію з його хлоридів та сульфатів:



Пом'якшення води методом іонного обміну [2, 3, 4]. Метод базується на здатності катіонітів обмінювати катіони, які зв'язані з його активними групами, на катіони кальцію і магнію, які містяться у воді.

Іонітом (катіоніт або аніоніт) називають речовини, які, як правило, є високомолекулярними полівалентними іонами, які оточені рухливими іонами протилежного знаку. Для того, щоб використовувати речовину як іоніт вона повинна бути малорозчинною, хімічно стійкою та характеризуватися високою механічною міцністю.

Для зменшення твердості води найчастіше застосовують Na^+ -катіонування та H^+ -катіонування. Під час фільтрування води через шар катіоніту відбувається обмін позитивно заряджених іонів катіоніту на іони кальцію, магнію та інші позитивно заряджені іони, присутні у воді, наприклад, при Na^+ -катіонуванні:



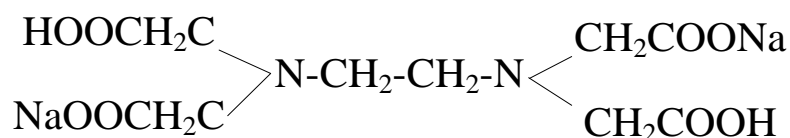
де R – умовне позначення нерухливого аніону катіоніту.

Реакції іонного обміну оборотні, тому регенерацію Na^+ катіоніту легко здійснити промиванням розчином хлориду натрію.

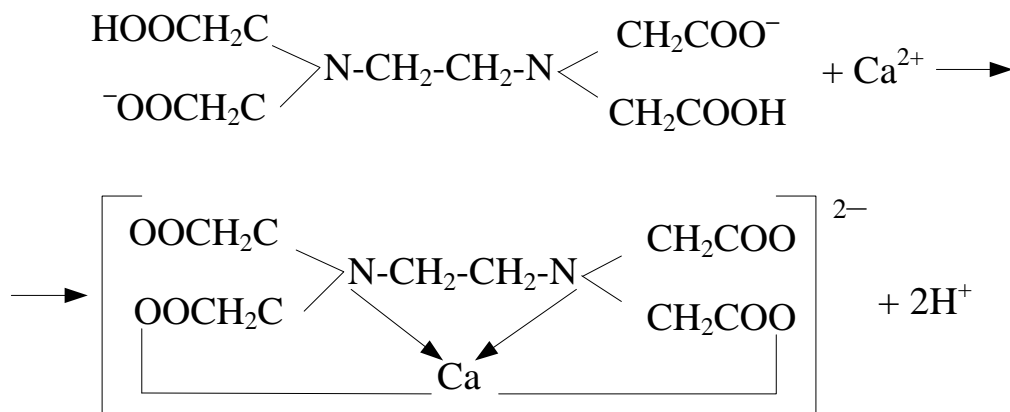
Хід роботи

1 Визначення загальної твердості води комплексометричним методом [2]

Метод ґрунтується на взаємодії катіонів кальцію і магнію з трилоном Б



в аміачному буферному розчині з утворенням внутрішньо-комплексних сполук (за наявності металохромних індикаторів):



Для визначення загальної твердості воду титрують розчином трилону Б в присутності індикатора. У точці еквівалентності при титруванні індикатор змінює забарвлення з рожевого (у присутності іонів жорсткості – Ca^{2+} і Mg^{2+}) на синє (у відсутності цих іонів). Комплексоутворення іонів кальцію і магнію з трилоном Б відбувається в лужному середовищі ($pH \approx 10$), тому при виконанні роботи використовують аміачний буферний розчин.

У дві конічні колби наливають по 100 мл досліджуваної води. Додають 5 мл аміачного буферного розчину, що підтримує $pH \approx 10$, і 3–5 крапель

індикатора кислотного хромтемносинього або кілька кристаликів (на кінчику шпателя) еріохромчорного і перемішують.

Бюретку заповнюють трилоном Б, попередньо промивши її цим же розчином. Відтитровують воду розчином трилону Б до переходу рожевого або винно-червоного забарвлення розчину в синьо-бузковий колір.

Вимірявши об'єм трилону Б, що пішов на титрування даної порції води, результат титрування необхідно внести в таблицю 2. Якщо результати титрування збігаються ($\Delta V \leq 0,1$ мл), то розраховують загальну жорсткість води. В іншому випадку потрібно відтитрувати ще одну пробу води.

Для визначення загальної твердості потрібно знайти середнє значення об'єму розчину трилону Б, що пішов на титрування двох (трьох) паралельних проб і за законом еквівалентів розрахувати загальну твердість води (ммоль/дм³):

$$T_3 = \frac{V_2 \cdot C_2}{V_1} \cdot 10^3, \text{ ммоль/дм}^3,$$

де V_1 – об'єм аналізованої води, см³;

V_2 – об'єм розчину трилону Б, см³;

C_2 – молярна концентрація еквівалентарозчину трилону Б, моль/дм³;

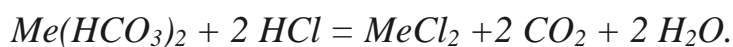
10^3 – коефіцієнт переведення моль/дм³ в ммоль/дм³.

Таблиця 2 – Результати визначення загальної твердості води

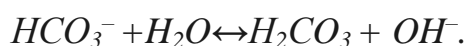
Номер дослідження	Об'єм розчину трилону Б,	Молярна концентрація еквівалента розчину трилону Б	Об'єм аналізованої води	Загальна твердість води
	V_2	C_2	V_1	T_3
	см ³	моль/дм ³	см ³	ммоль/дм ³
1				
2				
3				

2 Визначення карбонатної та некарбонатної твердості води [2]

Карбонатну твердість води (T_k) визначають титруванням досліджуваної води розчином соляної кислоти. При цьому розчинені у воді гідрокарбонати кількісно реагують із соляною кислотою за рівнянням:



Аніон HCO_3^- у воді гідролізує:



Тому вода, що містить гідрокарбонати кальцію і магнію, має лужну реакцію середовища. При додаванні до води метилового оранжевого з'являється жовте забарвлення. При титруванні досліджуваної води розчином соляної кислоти відбувається реакція нейтралізації:



Концентрація іонів OH^- еквівалентна концентрації іонів HCO_3^- , отже, і концентрації гідрокарбонатів кальцію і магнію. Метилловий оранжевий змінює своє забарвлення від червоного при $pH < 3,1$ до жовтого при $pH > 4,4$. У точці переходу метилловий оранжевий має помаранчеве забарвлення.

Для визначення карбонатної твердості води у дві конічні колби відміряють по 100 см^3 аналізованої води та додають 2–3 краплі розчину індикатора метилового оранжевого.

Підготовлені проби відтитрують розчином соляної кислоти відомої концентрації при постійному перемішуванні до тих пір, поки розчин не набуде помаранчевого забарвлення (але не рожевого). Результат титрування вносять в таблицю. Якщо результати двох титрування співпадають ($\Delta V \leq 0,1 \text{ см}^3$), обчислюють карбонатну твердість води. Якщо результати двох титрувань не збігаються, то необхідно відтитрувати ще одну або дві проби води.

Карбонатну, або тимчасову, твердість води (ммоль/дм^3) розраховують, використовуючи закон еквівалентів:

$$T_k = \frac{V_2 \cdot C_2}{V_1} \cdot 10^3, \text{ ммоль/дм}^3,$$

де V_1 – об'єм води, взятої на аналіз, см^3 ;

C_2 – молярна концентрація розчину хлоридної кислоти, моль/дм^3 ;

V_2 – об'єм розчину хлоридної кислоти, см^3 .

Некарбонатну твердість води ($T_{\text{НК}}$) визначають по різниці:

$$T_{\text{НК}} = T_3 - T_{\text{К}}$$

Результати запишіть у таблицю 3.

Таблиця 3 – Експериментальні дані визначення різних видів жорсткості води

Номер дослід	Об'єм аналізованої води	Об'єм розчину соляної кислоти	Молярна концентрація соляної кислоти	Твердість води		
				Карбонатна	Некарбонатна	загальна
	V_1 см^3	V_2 см^3	C_2 моль/дм^3	$T_{\text{К}}$	$T_{\text{НК}}$	T_3
1						
2						
3						

Завдання: визначте загальну, карбонатну та некарбонатну твердість проб води, взятих із різних джерел. На основі літературних даних визначте вимоги до твердості води для використання її в різних типах обладнання, і зробіть висновок про можливість використання аналізованої води для різних типів обладнання, що використовується в енергетиці.

Контрольні запитання:

Перелічіть показники якості води, які є найбільш важливими для оцінки можливості використання води в обладнанні електростанцій?

Для яких цілей вода використовується в енергетиці?

Що таке загальна, карбонатна, некарбонатна, тимчасова та постійна твердість води?

Як визначається загальна твердість води? Як визначається карбонатна твердість води?

Рекомендована література:

1. Конспект лекцій з дисципліни «Водопідготовка в системах ТПГ і В» / В. О. Ткачов, І.М. Чуб. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 50 с.

2. Хімія води: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / Т.Д. Панайотова, І.С. Зайцева. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 87 с.

3. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Гідрохімія водойм» / О.І. Мисіна. – Рівне: НУВГП, 2017. – 65 с.

4. Водопідготовка в промислових котельнях / В. О. Бойко, Ю. Г. Поржезінський. – К., 2015. – 52 с.

Лабораторна робота №3

ОЦІНКА ЯКОСТІ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

Мета роботи: оцінити якість біодизеля за кислотним числом, йодним числом та вмістом води.

Обладнання, матеріали та реактиви: біодизель, спиртовий розчин йоду (0,1 моль/дм³), 1%-й розчин крохмалю, розчин Na₂S₂O₃ (0,05 моль/дм³), 0,1 н NaOH, 95% етиловий спирт, розчин фенолфталеїну, фільтрувальний папір, марлевий фільтр, мірні циліндри, конічні колби (50 см³), піпетки, бюретки, морозильна камера.

Теоретичні відомості

Для отримання високоякісного біодизельного палива та попередження імовірного негативного впливу на довкілля необхідно контролювати технологічний процес виробництва. Насамперед це стосується якості метилових ефірів, отриманих у результаті переестерифікації ріпакової олії у технологічному процесі.

Виробництво та якість біодизеля регулюється як загальним міжнародним стандартом EN 14214:2003, так і національними стандартами країн-виробників. Наприклад, у США використовують стандарт ASTM D 6751, а в більшості європейських країн біодизельне паливо виробляється відповідно до стандарту Австрійського Інституту специфікації біологічного палива DIN E 51606. В Україні користуються національним стандартом ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги» (затверджено Наказом Держспоживстандарту від 20.01.2009 р. № 27).

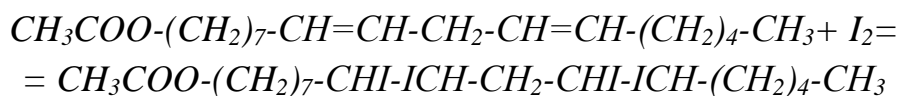
Перелічені стандарти встановлюють технічні вимоги і методи дослідження метилових ефірів жирних кислот. За даними стандартами нормуються такі показники, як масова частка ефірів, густина, в'язкість, температура спалаху тощо. В таблиці 4 наведено основні вимоги до показників якості біодизеля, визначені стандартами.

Під час виконання даної лабораторної роботи буде визначено такі показники, як йодне та кислотне число, вміст вологи.

Йодне число (iodine value) – умовна величина, яка чисельно дорівнює кількості галогену в перерахунку на йод (I_2) у грамах, який приєднується за місцем подвійного зв'язку до 100 г досліджуваної органічної сполуки.

Йодне число є важливим фізико-хімічним показником, який характеризує вміст у досліджуваних сполуках або їх сумішах реакційноздатних ненасичених зв'язків. Чим більше ненасичених зв'язків, тим більше використовується йоду в реакції і тим вище йодне число.

Приєднання йоду в місцях подвійних зв'язків можна описати рівнянням (на прикладі лінолевої кислоти):



Йодне число характеризує вміст у паливі ненасичених вуглеводнів, які здатні осмолятися. Висока кількість ненасичених жирних кислот є основною причиною зниження стабільності палива, таке паливо може окиснюватися при довготривалому зберіганні. Суть методу полягає в тому, що пробу біопалива обробляють розчином йоду в етиловому спирті, потім відтитровують вільний йод розчином тіосульфату натрію і далі визначають масу йоду, що приєднався в місцях подвійних зв'язків на 100 г досліджуваного біопалива.

Це важливий показник для жирів, який характеризує сумарний вміст ненасичених сполук, але не дозволяє визначати вміст окремих жирних кислот. Методи визначення йодного числа дуже точні та забезпечують одержання результатів, близьких до теоретично розрахованих, за винятком випадків наявності спряжених подвійних зв'язків або подвійних зв'язків, розташованих поряд із карбоксильною групою.

Кислотне число (acid value) – показник, що характеризує вміст у досліджуваній речовині вільних кислот. Чисельно КЧ виражається як кількість міліграмів гідроксиду калію, що йде на нейтралізацію кислот у наважці речовини масою 1 г.

Кислотне число біодизеля буде змінюватися внаслідок нормального процесу окиснення з плином часу. Дослідження показали, що цей показник є хорошим індикатором стабільності біодизельного палива. Наявність кислот в паливі може завдати шкоди системам впорскування та іншим металевим деталям.

При виробництві біодизеля нормується також і значення кислотного числа олії, яка є сировиною для трансестерифікації. Якщо кислотне число рослинної олії менше 2, то технологічний процес виробництва біодизельного палива спрощується –необхідна тільки реакція трансестерифікації. В іншому випадку, щоб не ускладнювати виробничий процес додаткової операцією, олію нейтралізують.

Таблиця 4 – Вимоги до якості біодизельного палива

№ з/п	Властивості	Одиниці вимірювання	Згідно з PN-EN 14214	Згідно з EDIN 51606	Згідно з ДСТУ 6081:2009
1	Густина при температурі 15 °С	кг/м ³	860–900	875–900	860–900
2	Кінематична в'язкість при температурі 40 °С	мм ² /с	3.5–5.0	3.5–5.0	3.5–5.0
3	Температура спалаху	°С	120	110	120
4	Вміст Сульфуру		10.0 (мг/кг)	0.01 (%)	10.0 (мг/кг)
7	Зольність	% (м/м)	0.02	0.03	0,02
8	Вміст води	мг/кг	500	300	500
9	Вміст механічних домішок	мг/кг	24	20	24
12	Кислотне число	мг КОН/г	0.5	0.5	0,5
13	Йодне число	г йоду/100 г	120	115	120
14	Температура замерзання	°С	0 ¹⁾ ; –10 ²⁾ ; –20 ³⁾	0 ¹⁾ ; –10 ²⁾ ; –20 ³⁾	
1) Для літнього періоду від 16 квітня до 16 вересня. 2) Для перехідного періоду від 1 березня до 15 квітня та від 15 жовтня до 15 листопада. 3) Для зимовою періоду від 16 листопада до кінця лютого.					

Хід роботи

1 Визначення йодного числа біодизеля [3]

У першу конічну колбу поміщують наважку біодизеля масою 0,1–0,2 г (дослідна проба), у іншу – 0,1–0,2 см³ води (контрольна проба), додають по 10 см³ спиртового розчину йоду й перемішують. Через 15 хв вміст колб відтитровують розчином тіосульфату натрію ($Na_2S_2O_3$) з концентрацією 0,05 моль/дм³ до появи слабкого жовтого кольору, а потім додають 1 см³ крохмалю і далі титрують тіосульфатом натрію до зникнення синього забарвлення. Йодне число розраховують за формулою:

$$ЙЧ = \frac{(B - A) \cdot f \cdot Q \cdot 100}{\alpha \cdot 1000}$$

де $(B - A)$ – різниця результатів титрування контрольної та дослідної проби розчином тіосульфату натрію, см³;

α – наважка досліджуваного біодизеля, г;

f – коефіцієнт поправки на титр розчину тіосульфату натрію;
 $Q = 12,69 \text{ мг}$ – маса I_2 , еквівалентна 1 см^3 розчину тіосульфату натрію.

2 Визначення кислотного числа біодизеля [3]

Наважку біодизеля масою $1,5\text{--}2,0 \text{ г}$, взяту з точністю до $0,01 \text{ г}$, розчиняють в 5 см^3 95%-ого етилового спирту, заздалегідь нейтралізованого по фенолфталеїну $0,1 \text{ н. NaOH}$ (якщо треба, нагрівають із зворотним холодильником на водяній бані до повного розчинення). Додають 1 см^3 розчину фенолфталеїну і титрують при постійному перемішуванні $0,1 \text{ н. NaOH}$ до появи рожевого забарвлення, яке не зникає протягом 30 сек .

Кислотне число обчислюють за формулою:

$$KЧ = \frac{V \cdot Q_{\text{KOH}}}{m},$$

де V – об'єм $0,1 \text{ н. NaOH}$, витрачений на титрування проби, см^3 ;

m – маса наважки біодизелю, г .

$Q_{\text{KOH}} = 5,61 \text{ мг}$ – маса KOH , яка відповідає 1 см^3 $0,1 \text{ н. NaOH}$.

3 Визначення вмісту води в біодизелі

Для визначення вмісту води в біодизелі мірну ємність заповнюють на $2/3$ її об'єму досліджуваним зразком біодизеля і ретельно перемішують його струшуванням $2\text{--}3$ хвилини. Потім мірну ємність поміщають в морозильну камеру і витримують до моменту замерзання води (нижче $0 \text{ }^\circ\text{C}$). Як показує практика, термін заморожування в $2\text{--}3$ години достатній для замерзання води в морозильній камері. Протягом перших двох годин процедури заморожування вода, якщо вона є в паливі, починає виділятися з нього у вигляді крапель і/або крижинок, які видно через прозору стінку мірної ємності. Тому через $1\text{--}2$ години від початку заморожування пробу виймають з морозильної камери і оглядають на світлі. Якщо краплі води та/або крижинки на даному етапі випробування візуально не виявлені, роблять висновок про відсутність води в паливі та випробування закінчують. При їх візуальному виявленні роблять висновок про наявність води в паливі і продовжують заморожування для перетворення всієї наявної в пробі води в лід. По закінченні заморожування (після закінчення зазначених $2\text{--}3$ годин) вода в пробі повністю кристалізується, при цьому паливо може залишатися рідким або ствердіти разом з водою. Якщо паливо в пробі залишилося рідким, відразу приступають до збору води шляхом відсіювання крижинок через марлевий фільтр. У разі замерзання палива пробу розморожують

протягом 5 – 10 хвилин, що достатньо для перетворення палива в рідкий стан. Вода при цьому залишається в твердому вигляді в силу того, що температура замерзання води і палива різні: температура замерзання води – 0 °С, а палива —10 ÷ –25 °С, тобто паливо відтане набагато швидше, ніж вода. Після відтавання палива відразу приступають до збору води шляхом відсіювання її кристалів через фільтр. Відсіяні кристали негайно поміщають в чисту мірний циліндр і після повного розморожування визначають відсотковий вміст води згідно формул, наведених нижче. Для цього фіксують об'єм, який займає вода в мірному циліндрі з точністю до 0,1 см³. Масову і об'ємну частку води у відсотках обчислюють за формулами:

$$X = \frac{V_0}{m} \cdot 100; X_1 = \frac{V_0}{V} \cdot 100,$$

де V_0 – об'єм води в мірній ємності, см³;

m – маса проби, г;

V – об'єм проби, см³.

Завдання: визначити кислотне число, йодне число та вміст води у біодизелі виготовленому з олій різних рослин. Зробити висновки про якість аналізованого біодизеля та відповідність його якості нормам ДСТУ 6081:2009.

Контрольні запитання

З якої сировини отримують біодизель?

Опишіть хімічні перетворення, які лежать в основі виробництва біодизельного палива.

Назвіть переваги використання біодизельного палива в порівнянні з традиційними видами палива.

Наведіть основні показники якості біодизельного палива.

Що характеризує кислотне число біодизелю та як його визначити?

Що характеризує йодне число біодизелю та як його визначити?

Що є причиною нормування вмісту води в біодизельному паливі?

Як визначити вміст води в біодизельному паливі?

Рекомендована література

1. Біоенергетика / Щурська К.О., Кузьмінський Є.В. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 306с.

2. Біодизель та біоетанол / В.О. Дубровін, Г.А. Голуб, В.М. Поліщук, К.М. Сера, О.А. Марус, С.В. Драгнев, М.Ю. Павленко, С.М. кухарець, С.Д. Щербак. – К., 2015. – 52с.

3. Харчова хімія: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.051701 "Харчові технології та інженерія" / Уклад.: Гуменюк О.Л. – Чернігів: ЧДТУ, 2013. – 151 с.

Лабораторна робота №4

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ ГАЛЬВАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета: визначити електрорушійну силу, яку генерують паливні елементи. Гальванічні елементи складені на основі біологічних матеріалів

Обладнання, матеріали та реактиви: мультиметр, електроди, які виготовлені з різних металів (цинковий, мідний, залізний, нікелевий, титановий).

Теоретичні відомості

Пристрої, що виробляють електричний струм внаслідок перебігу в них хімічних реакцій, називаються хімічними джерелами струму.

Наприкінці XVIII ст. італійський фізик Алессандро Вольта винайшов пристрій, що виробляв електричний струм. Пристрій мав вигляд товстого «бутерброд» із металічних пластин (міді і цинку) і тканини, яка заздалегідь була змочена розчином сульфатної кислоти. До першої та останньої пластинок припаювали дротинки. При зануренні у воду, то на поверхні кожної дротинки починалося виділення газу. Це відбувався електроліз води. Отже, крізь воду проходив електричний струм. Винайдене джерело струму було названо гальванічним елементом на честь Луїджі Гальвані (1737–1798) – італійського лікаря, анатома і фізіолога, який є одним із засновників електрофізіології.

Перший гальванічний елемент був незручним у користуванні і характеризувався короткою тривалістю роботи: поява на електроді бульбашок газу ускладнювала рух йонів біля електрода. У 1836 році незалежно один від одного англійський хімік Джон Фредерик Даніель та німецький і російський фізик-винахідник Б. С. Якобі, запропонували інший елемент, що був здатний виробляти електричний струм протягом значно довшого часу.

Теоретичне підґрунтя функціонування гальванічних елементів

Гальванічний елемент як правило складається з двох електродів (пластинок чи стержнів) виготовлених з різних металів, занурених в розчин електроліту. Під дією полярних молекул води катіони металу відриваються з поверхні пластинки, гідратуються і переходять в розчин, який при цьому заряджається позитивно, а в металі накопичується надлишок електронів. Чим далі протікає процес, тим більше стає заряд як металу, так і розчину. Завдяки електростатичному притягання катіонів розчину і надлишкових електронів металу на межі поділу фаз виникає подвійний електричний шар (Рис. 1), який

гальмує подальший перехід катіонів металу в розчин. Настає момент, коли між розчином і металом встановлюється рівновага, яку можна виразити рівнянням [1]:

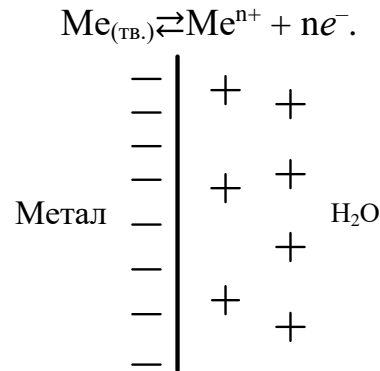


Рисунок 1 – Виникнення подвійного електричного шару на межі електрод/розчин

Різниця потенціалів, що виникає між металом і розчином електроліту, називається електродним потенціалом [1].

Значення електродного потенціалу залежить від природи металу. Чим більш активний метал, тим більше його катіонів переходить в розчин і тим більш негативно заряджена поверхня металу.

Якщо електроди гальванічного елемента замкнені зовнішнім колом, то виникне рух електронів у зовнішньому колі від негативного полюса до позитивного, а також іонів у середині електроліту. Таким чином, у результаті окисно-відновних процесів, що перебігають на аноді та катоді хімічного джерела струму, виникає електричний струм. Окисно-відновна реакція, що протікає при роботі гальванічного елемента, називається струмоутворюючою реакцією. Значення потенціалу електрода визначається окисно-відновним потенціалом напівреакції, яка перебігає на ньому.

В парі електродів, виготовлених з різних металів анодом буде електрод, виготовлений з більш активного металу (який знаходиться в ряді активності металів лівіше).

Також визначити, який з електродів буде анодом можна за значенням стандартного потенціалу напівреакцій. На аноді буде перебігати реакція стандартний електродний потенціал для якої більш негативний.

В загальному випадку схему гальванічного елемента записують наступним чином:



де Me_1, Me_2 та Me_1^{n+}, Me_1^{n+} – відновлена та окиснена форма металів, з яких виготовлені електроди.

Зліва записують процес, який відбувається на аноді (негативному електроді) – окиснення, справа – процес, який перебігає на катоді (позитивному електроді) – відновлення. (Для того щоб краще запам'ятати використовують прикладку «правий плюс», що значить, що позитивно заряджений електрод слід записувати справа).

Значення стандартних електродних потенціалів (E^0) для електродів, виготовлених з різних речовин – табличні величини, вони дають можливість визначити який електрод у гальванічному елементі буде катодом, а який – анодом: у катода потенціал більший, а в анода – менший.

В умовах, відмінних від стандартних, значення потенціалу електрода E можна розрахувати за рівнянням Нернста (у загальному випадку):

$$E = E^0 \pm \frac{2,3RT}{nF} \ln \alpha.$$

Після перетворень рівняння Нернста можна записати у вигляді:

$$E = E^0 + \frac{0,059}{n} \lg \alpha_{\text{катіона}},$$
$$E = E^0 - \frac{0,059}{n} \lg \alpha_{\text{аніона}},$$

де $R = 8,314 \text{ Дж/(К моль)}$; F – число Фарадея, $9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$;

$T = 298 \text{ К}$; n – кількість електронів;

E^0 – стандартний електродний потенціал;

α – активність іонів (моль/дм³);

$2,3 \ln = \lg$.

Електрорушійною силою (ЕРС) називається максимальна різниця потенціалів електродів, одержана при роботі оборотного гальванічного елемента і розраховується як різниця потенціалів катода і анода. Якщо до клем гальванічного елемента приєднати звичайний вольтметр, то одержана різниця потенціалів – це напруга, причому її величина буде менша від електрорушійної сили. Різниця між ЕРС і напругою обумовлена омичним падінням напруги всередині елемента при проходженні електричного струму та іншими факторами, наприклад, поляризацією електродів.

$$E = U_{\text{кл}} + \Pi$$

де E – ЕРС джерела струму;

$U_{\text{кл}}$ – напруга на клеммах;

Π – втрати напруги в зовнішньому колі гальванічного елемента.

Гальванічний елемент Даніеля–Якобі

Гальванічний елемент Даніеля–Якобі складається з двох посудин (Рис.2). В одній міститься розчин цинк сульфату, у який занурено пластинку з цинку, в іншій – купрум (II) сульфату, у який занурено пластинку з міді. Для запобігання перемішуванню розчини розділені напівпроникною пористою мембраною, через яку можуть проходити іони, але не проникають молекули розчинника (H_2O). Часто замість мембрани застосовується електролітний (сольовий) місток, через який іони можуть переміщуватися з одного електроліту в інший. У такий спосіб забезпечується електричний контакт між посудинами. Електроди з'єднують між собою за допомогою металевого провідника. Якщо в електричне коло під'єднати електричну лампочку, то вона буде світитися.

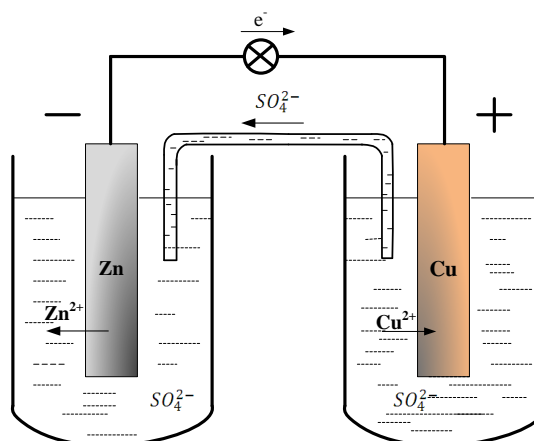
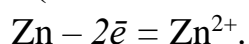


Рисунок 2 – Схема гальванічного елемента Даніеля–Якобі (анод виготовлений з Цинку, катод виготовлений з Купруму)

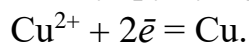
Через деякий час в обох склянках можна спостерігати хімічні перетворення: цинкова пластинка розчиняється, а на мідній пластинці з розчину осаджується мідь. Водночас послаблюється забарвлення розчину купрум(II) сульфату (концентрація йонів Cu^{2+} знижується). Ці хімічні зміни є результатом перенесення електронів з однієї частини елемента до іншого, тобто це типовий електрохімічний процес.

Цинк активніший ніж мідь, тому цинкова пластинка заряджена більш негативно, ніж мідна (він є анодом). Атоми цинку втрачають електрони, залишаючи їх на електроді, зазнають окиснення й перетворюються на катіони, які переходять в розчин (цинковий електрод розчиняється):



Стандартний електродний потенціал для цього електрода ($-0,76\text{В}$).

При з'єднанні цинкової пластинки з мідною металевим провідником електрони переходять від пластинки цинку до міді, на поверхні якої ці електрони з'єднуються з катіонами купруму з розчину і осаджується мідь:



Відбувається процес відновлення міді. Стандартний електродний потенціал для цього електрода $+0,34\text{В}$.

Сумарне рівняння (окисно-відновного перетворення в гальванічному елементі) буде мати вигляд:

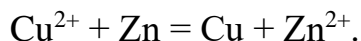
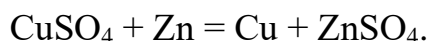


Схема гальванічного елемента Даніеля – Якобі матиме вигляд:



Суть перетворення така сама, що й звичайної хімічної реакції:



Оскільки у гальванічному елементі процеси окиснення й відновлення просторово розділені і перебігають окремо на поверхні кожного з двох електродів. Електрони, що залишаються від атомів цинку на аноді, рухаються електричним колом до катода, де їх отримують катіони купруму. Струм буде протікати до тих пір, поки весь цинк не розчиниться або всі катіони купруму з розчину не відновляться до міді.

Під час роботи гальванічного елемента в розчині купрум(II) сульфату зменшується кількість катіонів Cu^{2+} , а в розчині цинк сульфату збільшується кількість катіонів Zn^{2+} . Тому сольовий місток не тільки забезпечує електричний контакт між двома розчинами, а й підтримує електронейтральність розчинів, «постачаючи» катіони стороннього електроліту (Na^+ у випадку використання Na_2SO_4 , як електроліту для містка) у розчин купрум(II) сульфату а аніони (SO_4^{2-}) – у розчин цинк сульфату [3].

Використання живих організмів для електрохімічного отримання струму

Для отримання електричного струму у гальванічних елементах можна використовувати різні розчини електролітів, зокрема і природного походження.

Внутрішньоклітинна речовина (цитоплазма) та міжклітинна рідина живих організмів містить велику кількість розчинених речовин зокрема і різноманітних органічних та неорганічних іонів, за рахунок яких може мати високу провідність і є фактично розчином електролітів.

Тому можливо використовувати біологічні об'єкти (наприклад овочі чи фрукти) замість розчину електроліту для конструювання гальванічного елемента.

Хід роботи

Складають гальванічні елементи використовуючи пари електродів:

Zn – Al

Zn – Cu

Zn – Fe

Cu – Fe

Ni – Cu

Електроди шліфують наждачним папером. Два електроди вставляють в картоплину або лимон та з'єднують мідним дротом. за допомогою мультиметра вимірюють напругу між електродами.

Записують значення напруги для кожної пари електродів.

Завдання: за таблицею стандартних електродних потенціалів (Додаток 3) визначити катод та анод в кожній парі, записати схему гальванічного елемента та розрахувати теоретичне значення ЕРС для стандартних умов.

Розташувати пари електродів у порядку зростання теоретичного значення ЕРС та порівняти з практичним значенням, отриманим в експерименті.

Контрольні запитання

Що таке ЕРС гальванічного елемента, як її визначити?

Поясніть як виникає електродний потенціал при зануренні металевої пластинки у розчин електроліту

Від чого залежить значення потенціалу електрода?

Що називають стандартним потенціалом електрода, як його визначити?

Як визначити, який з електродів гальванічного елемента буде анодом (чи катодом)?

Рекомендована література

1. Основи електрохімії: навчальний посібник. / О.В. Кислова, І.С. Макєєва. – К.: КНУТД, 2017. – 128 с.

2. Технічна електрохімія ч. 2. Хімічні джерела струму: навчальний посібник / М.В. Бик, С.В. Фроленкова, О.І. Букет, Г.С. Васильєв. –К., 2018. – 321 с.

3. Фізична та колоїдна хімія. Навч. пос. / А.І. Костржицький, О.Ю. Калінков, В.М. Тіщенко, О.М. Берегова– К.: Центр учбової літератури, 2008. – 496 с.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ В ЛАБОРАТОРІЇ

1. Загальні вимоги охорони праці

1.1 На роботу в біохімічну лабораторію приймаються особи, які досягли 18 років, що пройшли медичний огляд.

1.2 Нові працівники допускаються до виконання своїх обов'язків лише після проходження вступного інструктажу про забезпечення заходів безпеки, інструктажу на робочому місці і після співбесіди з питань техніки безпеки.

1.3 Проходження інструктажу є обов'язковим для всіх прийнятих на роботу незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади, а також для людей, які проходять практику або виробниче навчання.

1.3 Періодичний інструктаж з техніки безпеки на робочому місці проводять двічі на рік.

1.4 При переведенні співробітника на нові види робіт, інші технологічні операції, перед роботою з новими речовинами, а також в разі порушення працівником правил техніки безпеки проводиться позаплановий інструктаж.

1.5 Проведення всіх видів інструктажу реєструється в журналі.

1.6 Розпорядженням по лабораторії призначаються відповідальні за дотриманням правил техніки безпеки в кожному робочому приміщенні, правильне зберігання легкозаймистих, вибухонебезпечних і отруйних речовин, санітарний стан приміщень, забезпеченість засобами індивідуального захисту та аптечками першої допомоги з необхідним набором медикаментів.

1.7 Проведення вступного інструктажу, контроль виконання правил техніки безпеки у всій лабораторії і ведення журналу інструктажу здійснює призначена завідуючим лабораторією посадова особа.

1.9 Усі працюючі в лабораторії повинні бути забезпечені необхідним спецодягом та засобами індивідуального захисту

2. Засоби індивідуального захисту

2.1 При роботі в хімічній лабораторії необхідно одягати халат з бавовняної тканини.

2.2 При виконанні робіт, пов'язаних з виділенням отруйних газів і пилю, для захисту органів дихання слід застосовувати респіратори або інші засоби захисту.

2.3 При роботі з їдкими і отруйними речовинами додатково застосовують фартухи, засоби індивідуального захисту очей і рук.

2.3 Для захисту рук від дії кислот, лугів, солей, розчинників застосовують гумові рукавички. На рукавичках не повинно бути порізів, проколів та інших пошкоджень. Для захисту рук від дії високих температура слід використовувати бавовняні або інші термостійкі захисні рукавички.

2.5 Для захисту очей застосовують окуляри різних типів, щитки, маски.

3. Правила пожежної безпеки в лабораторії

Всі приміщення лабораторії повинні відповідати вимогам пожежної безпеки та мати засоби пожежогасіння.

3.1 Лабораторія повинна бути оснащена пожежними кранами (не менше одного на поверх) з пожежними рукавами. У кожному робочому приміщенні повинні бути наявні вогнегасники.

3.2 У приміщенні лабораторії на видному місці повинен бути вивішений план евакуації співробітників в разі виникнення пожежі.

3.3 Розпорядженням по лабораторії з числа співробітників призначається група (3-5 чоловік), яка організовує всі протипожежні заходи, отримавши інструктаж місцевої пожежної команди.

3.4 Всі співробітники лабораторії повинні бути навчені правилам поведінки

з вогне- та вибухонебезпечними речовинами, газовими приладами, а також повинні вміти поводитися з протигазом, вогнегасником та іншими засобами пожежогасіння, наявними в лабораторії.

3.5 У приміщеннях лабораторії і в безпосередній близькості від них (в коридорах, під сходами) забороняється зберігати горючі матеріали і встановлювати предмети, які загороджують проходи і доступ до засобів пожежогасіння.

3.6 Без дозволу завідувача лабораторією та особи, відповідальної за протипожежні заходи, забороняється установка лабораторних і нагрівальних приладів, їх використання та переробка електропроводки.

3.6 Всі нагрівальні прилади повинні бути встановлені на термоізолюючих підставках.

3.8 Забороняється експлуатація несправних лабораторних і нагрівальних приладів.

3.9 Після закінчення роботи необхідно відключити електроенергію, газ та воду у всіх приміщеннях.

3.10 Кожен співробітник лабораторії, який помітив пожежу, задимлення або інші ознаки пожежі зобов'язаний: негайно сповістити пожежну службу по телефону; довести до відома завідувача лабораторією, який в свою чергу повинен сповістити співробітників, вжити заходів до їх евакуації та ліквідації пожежі. прийняти заходи щодо обмеження поширення вогню та ліквідації пожежі;

4. Правила електробезпеки в лабораторії

Всі приміщення лабораторії повинні відповідати вимогам електробезпеки при роботі з електроустановками.

4.1 Все електрообладнання з напругою понад 36 В, а також обладнання та механізми, які можуть виявитися під напругою, повинні бути надійно

заземлені.

4.2 Для відключення електромереж на вводах повинні бути рубильники або інші доступні пристрої. Відключення всієї мережі, за винятком чергового освітлення проводиться загальним рубильником.

4.3 З метою запобігання електротравматизму забороняється:

- працювати на несправних електричних приладах і установках;
- перенавантажувати електромережу;
- переносити і залишати без нагляду ввімкнені електроприлади;
- працювати поблизу відкритих частин електроустановок, торкатися до них;
- загроможувати прохід до електричного пристрою.

4.4 Про всі виявлені дефекти в ізоляції проводів, несправності рубильників, штепсельних вилок, розеток, а також заземлення та огорожень слід негайно повідомити електрику.

4.5 У разі перерви в подачі електроенергії електроприлади повинні бути негайно вимкнені.

4.6 Забороняється використання в межах одного робочого місця електроприладів класу «0».

4.7 Категорично забороняється торкатися до корпусу пошкодженого приладу або струмопровідних частин з порушеною ізоляцією і одночасно до заземленого обладнання (інший прилад з справним заземленням, водопровідні труби, опалювальні батареї), або торкатися до ушкодженого приладу, стоячи на вологій підлозі.

4.8 У разі ураження електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроприлад, якого торкається потерпілий. Відключення проводиться за допомогою вимикача або рубильника.

4.9 При неможливості швидкого відключення електроприладу необхідно

звільнити потерпілого від струмопровідних частин дерев'яним або іншим предметом, який не проводить струм .

4.10 У всіх випадках ураження електричним струмом необхідно викликати лікаря.

5. Зберігання реактивів

5.1 Загальні положення зберігання реактивів

5.1.1 Лабораторні запаси реактивів повинні зберігатися в спеціально обладнаних, добре вентильованих, сухих місцях, згідно з правилами безпеки.

5.1.2 При розміщенні реактивів в лабораторії слід неухильно дотримуватися порядку сумісного зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин.

Не дозволяється сумісне зберігання реактивів, здатних реагувати один з одним з виділенням тепла або горючих газів. Забороняється також спільно зберігати речовини, які в разі виникнення пожежі можна гасити одним вогнегасним засобом.

5.1.3 Забороняється розфасовувати сипучі речовини на складі.

5.1.4 Основним правилом при зберіганні і відборі реактивів є запобігання їх забруднення.

5.1.5 На всіх упаковках з реактивами повинні бути етикетки із зазначенням назви, кваліфікації та строку придатності.

5.1.6 Реактиви, які не можна зберігати в скляній тарі, поміщають в тару з матеріалів, стійких до дії даного реактиву. Наприклад, плавикову кислоту і луги зберігають в бутлях з поліетилену.

5.1.7 Реактиви, що розкладаються або змінюють свої властивості під дією світла (наприклад, діетиловий ефір, пероксиди, солі срібла), зберігають у склянках з темного або жовтого скла.

5.1.8 Гігроскопічні речовини і речовини, що окиснюються при контакті з

повітрям, повинні зберігатися в герметичній тарі. Для герметизації пробок використовують парафін.

5.1.9 Відпрацьовані реактиви необхідно зливати в окремі ємності для подальшої переробки або передачі в організації, що займаються утилізацією хімічних речовин.

Зливати концентраційні кислоти, луги, отруйні і горючі речовини в каналізацію забороняється!

5.2 Зберігання хімічних реактивів в лабораторії

5.2.1 У робочих приміщеннях допускається зберігати нелеткі, не пожежонебезпечні і малотоксичні тверді речовини і водні розчини, розбавлені кислоти і луги, в кількостях, необхідних для аналізів.

5.2.2 Концентровані кислоти в обсязі не більше 2 дм³ зберігаються в скляному посуді з притертою скляними кришками або пластмасовими пробками в екзикаторі або скляній ємності з кришкою в витяжній шафі. Для кращої герметичності надягають гумові ковпачки.

5.2.3 Концентровані розчини лугів зберігають у витяжній шафі, окремо від кислот, в поліетиленовій тарі. Разом з лугами зберігається аміак.

5.2.4 Зберігання легкозаймистих рідин (ЛЗР) допускається в товстостінних, забезпечених герметичними пробками бутлях, місткістю не більше 1 дм³, особливо небезпечні ЛЗР – в обсязі не більше добової потреби. Бутлі з ЛЗР поміщають в спеціальні металеві ящики далеко від джерел тепла і окислювачів (хлоратів, нітратів, азотної кислоти, перекису водню, перманганатів).

5.2.5 Органічні речовини з різким запахом (піридин, ізоаміловий спирт і ін.) зберігаються в тарі, з добре закритими пробками та гумовими ковпачками.

5.2.6 Металева ртуть та інші отруйні речовини зберігаються в шафах, що замикаються (сейфах), в суворій відповідності з інструкціями по їх зберіганню.

5.2.7 Їдкі речовини (залізо трихлористе, йод, триетаноламін, валеріанова, пропіонова та ін. органічні кислоти), зберігаються в скляному посуді з пробками в металевому ящику під витяжною шафою. Для кращої герметичності на пробки надягають гумові ковпачки.

5.3 Правила зберігання пожежонебезпечних реактивів

До пожежонебезпечних відносяться вогнебезпечні, самозаймисті і вибухонебезпечні речовини.

5.3.1 Запаси пожежонебезпечних реактивів повинні зберігатися в ізольованих, добре вентильованих приміщеннях вдалині від опалювальних приладів і прямих променів сонця або в спеціалізованих шафах.

Гасіння пожежі водою і повітряно-механічною піною неприпустимо!

5.3.2 У місцях зберігання пожежонебезпечних реактивів заборонено розміщувати сторонні предмети і меблі, які затуляють доступ до засобів пожежогасіння.

5.3.3 Зберігання пожежонебезпечних речовин допускається в строго відповідній тарі, яка має етикетки з точним найменуванням речовини і написом «Вогнебезпечно» («Вибухонебезпечно»).

5.3.4 Спільне зберігання в одному приміщенні самозаймистих, вогнебезпечних та вибухонебезпечних речовин не допускається. При відсутності окремих приміщень допускається зберігання невеликих кількостей (10 - 15 г) вищеназваних речовин в одному приміщенні, але в окремих, щільно закритих залізних шафах.

5.3.5 Забороняється також спільно зберігати речовини, які здатні при своїй взаємодії викликати утворення полум'я або виділяти велику кількість тепла.

6. Правила роботи з хімічними речовинами

6.1 Загальні положення

При роботі в хімічній лабораторії необхідно дотримуватися вимог техніки безпеки.

6.1.1 При роботі з хімічними реактивами в лабораторії має знаходитися не менше двох співробітників.

6.1.2 Приступаючи до роботи, співробітники зобов'язані оглянути і привести в порядок своє робоче місце, звільнити його від непотрібних для роботи предметів.

6.1.3 Перед роботою необхідно перевірити справність обладнання, рубильників, наявність заземлення та ін.

6.1.4 Робота з їдкими і отруйними речовинами, а також з органічними розчинниками проводиться тільки в витяжних шафах.

6.1.5 Забороняється набирати реактиви в піпетки ротом, для цієї мети слід використовувати гумову грушу або інші пристрої.

6.1.6 При визначенні запаху хімічних речовин слід нюхати обережно, направляючи до себе пари або газу рухом руки.

6.1.7 Роботи, при яких можливе підвищення тиску, перегрів скляного приладу або його поломка з розбризкуванням гарячих або їдких продуктів, також виконуються в витяжних шафах. Виконавець роботи повинен надіти захисні окуляри (маску), рукавички і фартух.

6.1.8 Під час виконання робіт в витяжній шафі ступки шафи слід піднімати на висоту не більше 20 - 30 см так, щоб в шафі знаходилися тільки руки, а спостереження за ходом процесу вести через скло шафи.

6.1.9 При роботі з хімічними реактивами необхідно вмикати і вимикати витяжну вентиляцію не менше ніж за 30 хвилин до початку, і після закінчення робіт.

6.1.10 Змішування або розведення хімічних речовин, що супроводжується

виділенням тепла, слід проводити в термостійкому або фарфоровому посуді.

6.1.11 При упарюванні в стаканах розчинів слід ретельно перемішувати їх, так як нижні і верхні шари розчинів мають різну щільність, внаслідок чого може статися викидання рідини.

6.1.12 Щоб уникнути опіків, уражень від бризок і викидів не можна нахилитися над посудом, в якій кипить якась рідина.

6.1.13 Нагрівання посуду зі звичайного скла на відкритому вогні без азбестованої сітки заборонено.

6.1.14 При нагріванні рідини в пробірці тримати її слід отвором в сторону від себе і від інших співробітників.

6.1.15 За жодних обставин не можна допускати нагрівання рідин в колбах або приладах, що не сполучаються з атмосферою.

6.1.16 Нагріту посудину не можна закривати притертою пробкою доти, поки вона не охолоне до температури навколишнього середовища.

6.2 Робота з кислотами і лугами

6.2.1 Робота з концентрованими кислотами і лугами проводиться тільки в витяжній шафі і з використанням захисних засобів (рукавичок, окулярів). При роботі з димами азотної кислоти з питомою густиною 1,51 - 1,52 г / см³, а також з олеумом слід надягати також гумовий фартух.

6.2.2 Концентровані азотна, сірчана, соляна кислоти повинні зберігатися у витяжній шафі в скляному посуді ємністю не більше 2 дм³. У місцях зберігання кислот неприпустимо знаходження легкозаймистих речовин. Розбавлені розчини кислот (за винятком плавикової) також зберігають в скляному посуді, а лугів - в поліетиленовій тарі.

6.2.3 Для приготування розчинів сірчаної, азотної та інших кислот їх необхідно доливати у воду тонким струменем при безперервному помішуванні. Для цього використовують термостійкий посуд, так як процес розчинення супроводжується сильним розігріванням.

Доливати воду в кислоти забороняється!

6.2.4 У разі попадання кислоти на шкіру уражене місце слід негайно промити протягом 10 - 15 хвилин струменем води, а потім нейтралізувати 2 - 5% розчином карбонату натрію.

6.2.5 Пролиту кислоту слід засипати піском. Після прибирання піску місце, де була розлита кислота, посипають вапном або содою, а потім промивають водою.

6.3 Робота з легкозаймистими рідинами (ЛЗР)

До роботи з ЛЗР і іншими пожежонебезпечними речовинами допускаються співробітники, які вивчили інструкції з техніки пожежної безпеки та пройшли відповідний інструктаж.

6.3.1 Перед роботою з ЛЗР слід перевірити наявність і підготувати до використання первинні засоби пожежогасіння.

6.3.2 Забороняється проводити будь-які роботи з ЛЗР поза витяжною шафи!

6.3.3 Перегонку і нагрівання низькокип'ячих легкозаймистих рідин слід проводити в круглодонних колбах, встановлених на банях, заповнених відповідним теплоносієм (вода, масло, пісок). Для нагрівання бань слід користуватися електроплитками тільки з закритими нагрівальними елементами.

6.3.4 При перегонці ЛЗР слід постійно стежити за роботою холодильника.

6.3.5 Забороняється нагрівати на водяних банях речовини, які можуть вступати в реакцію з водою з вибухом або виділенням газів.

6.3.6 Лабораторні установки, в яких проводилося нагрівання ЛЗР, дозволяється розбирати тільки після охолодження їх до кімнатної температури.

6.3.7 У разі витоку або займання ЛЗР слід вимкнути всі електронагрівальні прилади, а при необхідності знеструмити лабораторію відключенням загального рубильника. Місце витоку ЛЗР слід засипати сухим піском, а

потім зібрати його дерев'яним або пластиковим совком. Застосування металевих совків забороняється.

6.3.8 Необхідно суворо стежити за тим, щоб ємкості з ЛЗР не опинилися поруч з нагрітими предметами і не освітлювалися прямими сонячними променями, тому що всередині герметично закритій ємності створюється тиск, що може викликати руйнування скляної пляшки.

6.3.9 При заповненні скляних пляшок ЛЗР «під пробку» при підвищенні температури на 5 - 10 °С може відбутися руйнування бутля. Для запобігання цьому ЛЗР не доливають в бутлі приблизно на 10 мл.

6.3.10 Перекисні сполуки вимагають такої ж обережності в поводженні, як і інші пожежонебезпечні речовини. У процесі роботи з ними неприпустимо розігрівання перекисів вище температури їх розкладання.

6.3.11 Обов'язковою умовою роботи з перекисними сполуками є дотримання чистоти робочого місця, приладів і посуду.

6.3.12 Для гасіння органічних перекисів слід застосовувати воду, для неорганічних - сухий пісок, порошкові склади і вуглекислотні вогнегасники.

6.4 Робота з твердими речовинами

6.4.1 Всі сухі реактиви необхідно брати порцеляновими ложками, шпателями. Брати реактиви незахищеними руками забороняється!

6.4.2 При зважуванні твердих речовин завжди треба користуватися тарою. Неприпустимо насипати речовини безпосередньо на чашку ваг.

6.4.3 Роботи з отруйними та шкідливими твердими речовинами слід проводити тільки у витяжній шафі і з усіма запобіжними заходами.

6.4.4 Необхідно проявляти обережність при змішуванні твердих речовин (особливо органічних), тому що утворюється пил може бути вибуховою.

Забороняється змішувати сухі реактиви поблизу включених електронагрівальних приладів.

6.4.5 Роботу з порошкоподібними речовинами для запобігання їх розпилення

потрібно проводити в таких місцях, де немає протягів або сильного руху повітря.

6.4.6 Випадково розсипаний реактив не можна висипати назад в ту ж банку, де він зберігається.

6.5.7 Роботи з лужними металами слід проводити в витяжній шафі на чистому і сухому місці, застосовуючи мінімальні їх кількості і користуючись захисними окулярами і гумовими рукавичками. Щоб уникнути займання лужних металів, не можна допускати попадання на них води.

6.4.8 З пожежонебезпечними реактивами слід працювати далеко від вогню і працюючими нагрівальними приладами.

6.5 Робота з отруйними газоподібними речовинами

6.5.1 Роботу з отруйними газоподібними речовинами проводять обов'язково у витяжній шафі.

6.5.2 Перед роботою необхідно перевірити силу тяги у витяжній шафі.

При поганій або недостатній тязі працювати з отруйними газоподібними речовинами заборонено.

6.5.3 Під час виконання робіт з отруйними газоподібними речовинами необхідно мати наготові протигаз.

7. Перша допомога при нещасних випадках в лабораторії

Про нещасний випадок потерпілий або очевидець зобов'язаний негайно повідомити завідувача лабораторії. Очевидець повинен організувати першу допомогу потерпілому і викликати лікаря.

При роботі в хімічній лабораторії найбільш вірогідні наступні види уражень:

- отруєння,
- поранення,
- опіки,

-втрата свідомості.

7.1 Речовини, що викликають ОТРУЄННЯ і засоби першої допомоги при різних отруєннях представлені в Таблиці 5.

Таблиця 5 – Перша допомога при отруєннях

Отруйні речовини	Перша допомога
Альдегіди	Дати випити склянку 0,2% розчину аміаку, а через кілька хвилин – склянку молока.
Аміаку розчин	Давати пити слабкий розчин оцтової кислоти або лимонний сік. Викликати блювоту. Дати рослинне масло, молоко або яєчний білок.
Барію солі	Викликати блювоту. Дати проносне – сірчаноокислий магній або сірчаноокислий натрій.
Бензол	При отруєнні через стравохід викликати блювоту. Дати проносне, зробити штучне дихання і вдихати кисень. Дати кави.
Йод	Викликати блювоту. Дати 1% розчин сірноватистоокислого натрію, крохмальний клейстер, молоко. Дати воду. Викликати блювоту. Дати молоко, яєчний білок або крохмальний клейстер.
Мідь і її солі	Промивання шлунка розчином $KMnO_4$ (1 г на 1 дм ³ води), всередину 1% -вий розчин цієї ж солі по столовій ложці протягом 5 хвилин, сольове проносне. Уникати жирного і кислого.
Мінеральні кислоти	При отруєнні через стравохід полоскати рот водою і 5% розчином двовуглекислого

	натрію. Дати молоко і суспензію оксиду магнію (10 г оксиду магнію в 150 см ³ води) або вапняну воду і рослинну олію.
Нітросполуки	Викликати блювоту. Дати проносне. Абсолютно неприпустимо давати спирт, жири або рослинну олію.
Сполуки олова	Викликати блювоту. Дати суспензія оксиду магнію в воді, рослинна олія.
Піридин	Дати чай або каву у великій кількості. Зробити штучне дихання.
Ртуті сполуки	Дати суміш складу: 1 г фосфорноватокислого натрію, 5 см ³ 3% його перекису водню і 10 см ³ води, вважаючи, що зазначені кількості беруться на кожні 0,1 г хлорної ртуті, що потрапила в шлунок.
Свинець та його сполуки	Дати велику кількість 10% розчину сірчаноокислого магнію. Тепло на живіт. Клізми (соляна, масляна).
Сполуки срібла	Дати велику кількість 10%- вого розчину кухонної солі.
Спирти, етиловий ефір, снодійне, хлороформ та інші наркотичні речовини	Дати 0,03 г фенаміну або 0,1 г коразола, або 30 крапель кордамін, або 0,5 г бромистий камфори. Після цього дати міцний чай або каву. При необхідності робити штучне дихання і давати вдихати кисень.
Фенол	Викликати блювоту. Дати вапняну воду або суспензія оксиду магнію (15 г оксиду магнію на 100 см ³ води, все слід дати 500 см ³ по одній столовій ложці через кожні 5 хвилин), або розбавлений розчин КМnO ₄ (1:400). У важких випадках дають 5% розчин сірчаноокислого натрію і кисень для вдихання

Сполуки фосфору	При отруєнні через стравохід – постійні промивання шлунка 0,2% розчином $KMnO_4$. Далі 2-3 рази кожні півгодини – 1% розчином 30 сірчаноокислої міді (по 0,1 г на прийом). Клізми. Лужне пиття (2% р-м двовуглекислого натрію)
Фтористий натрій	Дати вапняну воду або 2% розчин хлористого кальцію.
Ціанистоводнева (синильна) кислота та її солі	При отруєнні через стравохід дати 1% розчин сірноватистоокислого натрію або 0,025% розчин $KMnO_4$, що містить двовуглекислий натрій. Викликати блювоту. негайно дати вдихати з ватою амлінітри (накапати на ваті 10 крапель). Якщо поліпшення немає, зробити штучне дихання з рясним застосуванням кисню.
Сполуки цинку	Викликати блювоту. Дати сире яйце в молоці.
Щавлева кислота	Викликати блювоту. Дати вапняну воду, касторове масло.
Викликати блювоту. Дати вапняну воду, касторове масло.	Абсолютний спокій. Вдихати кисень. Дати 2 г норсульфазола.
Аміак, ацетон	Чисте повітря, спокій. При втраті свідомості – штучне дихання.
Йодові пари	Вдихати водяні пари з домішкою аміаку, очі Промити 1 % розчином сірноватистоокислим натрієм.
Оксиди вуглероду, ацетилен	Свіже повітря. Не допускати охолодження тіла. Якщо дихання слабке або переривчасте, дати кисень. Якщо дихання зупинилося, робити штучне дихання в поєднанні з киснем.

Сірної кислоти пари	Свіже повітря. Інгаляція содовим розчином. Тепле молоко з содою і «Боржомі».
Сірководень	Чисте повітря. У важких випадках штучне дихання, кисень.
Соляної кислоти пари	Свіже повітря. Інгаляція кисень, полоскання горла 2% розчином соди.
Хлор	Спокій навіть при помірному отруєнні, вдихання кисень. При отруєнні через стравохід промити порожнину рота 3% розчином двовуглекислого натрію і суспензією оксид магнію в воді. Дати молоко і суспензію 10 г оксиду магнію в 150 см ³ води.

7.2 При пораненнях (порізи) необхідно в першу чергу видалити з рани осколки, зупинити кровотечу, промити рану 2% розчином перманганату калію або спиртом і забинтувати. У разі забруднення рани її слід обробити пероксид водню. При сильній кровотечі з рани на кінцівку необхідно вище рани накласти пов'язку, що давить. Кровотечу з ран на інших частинах тіла зупиняє туге перев'язування рани стерильною марлею. При сильній кровотечі необхідно викликати лікаря.

7.3 Опіки діляться на термічні і хімічні.

7.3.1 Причиною термічних опіків можуть бути дотик незахищеним руками до розпечених або сильно нагрітих предметів лабораторного обладнання, займання легкозаймистих або горючих рідин.

7.3.2 Хімічні опіки виникають від дії на шкіру різних хімічних речовин, головним чином кислот і лугів.

7.3.3 Види опіків і засоби першої допомоги представлені в Таблиці 6.

Таблиця 6 – Перша допомога при опіках

Опіки	Перша допомога
ТЕРМІЧНІ	
Першого ступеня (почервоніння)	Обпалені місця присипати двовуглецевим натрієм, крохмалем або тальком. Накласти вату, змочену етиловим спиртом. Повторювати змочування.
Другого ступеня (пухирі)	Обробити 3-5% розчином марганцевокислого калію, соди або 5% розчином таніну. Змочування етиловим спиртом.
Третього ступеня (руйнування тканин)	Покрити рану стерильною пов'язкою, терміново викликати лікаря.
ХІМІЧНІ	
Кислотами, Хлороформом	Промити опік великою кількістю води, потім 5% розчином бікарбонату натрію або 2% розчином соди.
Лугами	Промити великою кількістю води, потім 2% розчином оцтової кислоти
Бромом	Швидко змити кількома порціями етилового спирту, змастити уражене місце маззю від опіків.
Опіки ока	Промити очі великою кількістю проточної води. При опіку кислотами промивати 3% розчином бікарбонату натрію, при опіку лугами – 2% розчином Борної кислоти.

7.4. При втрати свідомості:

Укладіть потерпілого на рівну поверхню (на підлогу, лаву, стіл) так, щоб голова була нижче тулуба, а ноги – вище. Це забезпечить приплив крові до голови.

Якщо немає можливості укласти людину, посадіть його на лавку або хоча б на підлогу, нахиливши його голову якнайнижче, щоб плечі торкалися колін.

Забезпечте доступ свіжого повітря (відкрийте вікно, якщо потерпілий знаходиться в приміщенні).

Поверніть голову потерпілого набік, щоб блювотні маси не потрапили в дихальні шляхи.

Звільніть від огягу,яке стискає дихальні шляхи (комір, пояс).

Перевірте пульс. Якщо він відсутній або слабо прощупується, відразу ж викликайте «швидку»!

Дайте потерпілому вдихнути пари нашатирного спирту (для цього потрібно злегка змочити ватний тампон нашатирним спиртом і потримати його на відстані 1-2 см від носа).

Якщо нашатирю немає, окропити на обличчя прохолодною водою або протріть рушником, змоченим у холодній воді.

Якщо, незважаючи на всі вжиті заходи, людина не приходить до тями більше 5 хвилин, викликайте «швидку допомогу»!

Перелік використаної літератури:

1. Особливості дотримання техніки безпеки при роботі в біохімічній та хімічній лабораторіях: навч. посібник для студентів та викладачів вузів / К. В. Александрова, В. М. Швець, М. В. Дячков, Д. А. Васильєв. - Запоріжжя: [ЗДМУ], 2017. – 76 с.

Перерахунок вологості для різних станів палива

Таблиця Д1. Перерахунок вологості для різних станів палива

Стан палива	Робочий (r)	Повітряно-сухий (с)	Абсолютно сухий (a)	Сухийбеззолни (сбз)
Робочий (r)	1	$\frac{100 - W^c}{100 - W^r}$	$\frac{100}{100 - W^r}$	$\frac{100}{100 - (W^r + A^r)}$
Повітряно-сухий (с)	$\frac{100 - W^r}{100 - W^c}$	1	$\frac{100}{100 - W^c}$	$\frac{100}{100 - (W^c + A^c)}$
Абсолютно-сухий (a)	$\frac{100 - W^r}{100}$	$\frac{100 - W^c}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^a}$
Сухий беззолни (сбз)	$\frac{100 - (W^r + A^r)}{100}$	$\frac{100 - (W^c + A^c)}{100}$	$\frac{100 - A^a}{100}$	1

Для того, щоб перерахувати значення вологості для необхідного стану, потрібно помножити значення вологості отримане в результаті визначення на коефіцієнт перерахунку з таблиці.

Обробка результатів експерименту

Розрахунок похибок вимірювань

Кінцевим етапом експерименту є обробка отриманих даних та їх аналіз. Внаслідок різних причин у процесі вимірювань обов'язково виникають похибки. Результати вимірювань лише тоді є достовірними, коли оцінені похибки вимірювань. Розглянемо деякі найпростіші способи обробки результатів експерименту та оцінки похибок.

Нехай x – певна величина, що вимірюється багаторазово (n разів) за одних і тих самих умов. Через недосконалість приладу, помилки експериментатора, невраховані зміни умов кожний вимір дає власний результат $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, що відмінний від істинного значення цієї величини x . Найбільш імовірним та близьким до істинного є середнє арифметичне значення цієї величини \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n}. \quad (1)$$

Теорія показує, що $\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{x} = x$. Різницю між результатом даного вимірювання (x_i) і середнім арифметичним значенням серії таких вимірювань називають абсолютною похибкою окремого вимірювання (Δx_i):

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}. \quad (2)$$

Помилку окремого вимірювання оцінюють також середньою квадратичною похибкою

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

Квадрат середньої квадратичної похибки, що характеризує розсіювання вимірюваних величин отримав назву дисперсії вимірювань S_n^2 . Дисперсія показує наскільки широко розкидані значення окремих вимірювань відносно середнього значення.

Середня квадратична похибка серії вимірювань (середньоквадратична похибка середнього значення) визначається за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x)^2}{n(n-1)}} = S_n / \sqrt{n}. \quad (4)$$

З (4) зрозуміло, що середня квадратична помилка середнього з n вимірювань менша за середню квадратичну помилку в \sqrt{n} разів. Тому для зменшення випадкової помилки при вимірюваннях шукану величину бажано визначити декілька разів, як правило, не менше 4-5.

Для оцінки істинного значення x вимірюваної величини необхідно знати її середнє значення \bar{x} і величину інтервалу довіри $\bar{x} \pm \Delta x$, у якому із заданою імовірністю (надійністю) α знаходиться істинне значення x . Існують різні методи визначення похибки вимірювання. На практиці найчастіше використовують метод визначення похибки вимірювання на основі критерію Стюдента. Для цього методу похибка вимірювання (величина половини інтервалу довіри) Δx при надійності α залежить від кількості вимірювань та визначається за формулою:

$$\Delta x = t_{\alpha} S_x, \quad (5)$$

де t_{α} – коефіцієнти Стюдента (для надійності $\alpha = 0,95$). Задана кількість вимірювань n та значення t_{α} наведені в табл. 1.

Таблиця Д.2 – Значення критерію Стюдента для заданої кількості вимірювань

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	20
t_{α}	12,71	4,30	3,18	2,77	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	2,20	2,09

Кінцевий результат вимірювань, що проводились, записують у формі $\bar{x} \pm \Delta x$.

Якість результатів вимірювання більш наочно характеризується відносною похибкою – відношенням похибки (Δx) до середнього арифметичного значення вимірюваної величини (або до істинного значення цієї величини, якщо воно відоме):

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \text{ або } \delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (6)$$

Дуже часто величина, яка цікавить експериментатора, знаходиться не прямим методом, а опосередкованим. Для цього потрібно виміряти ряд інших величин, від яких залежить значення шуканої величини. Знаючи вигляд функції залежності величини від вимірюваних розраховують необхідне значення. У цьому випадку точність кінцевого результату залежить від похибок вимірювань кожної величини.

Якщо шукана величина є сумою (або різницею) двох і більше вимірюваних величин $y = x_1 \pm x_2 \pm x_3 \pm \dots \pm x_n$, то середня арифметична похибка шуканої величини

$$\Delta y = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2} . \quad (7)$$

Середня квадратична похибка при цьому

$$\overline{S}_y = \sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2 + \dots + S_{x_n}^2} , \quad (8)$$

а відносна похибка:

- для $y = x_1 + x_2$

$$\delta = \frac{\sqrt{\Delta x_1^2 + \dots + \Delta x_n^2}}{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)} ; \quad (9)$$

- для $y = x_1 - x_2$

$$\delta = \frac{\sqrt{\Delta x_1^2 + \dots + \Delta x_n^2}}{(x_1 - x_2 - \dots - x_n)} . \quad (10)$$

Якщо шукана величина являє собою добуток або частку від ділення двох незалежно вимірюваних величин ($y = x_1 x_2$, або $y = x_1 / x_2$), то в цьому випадку відносну похибку можна знайти за формулою

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{x_2}{x_2}\right)^2} . \quad (11)$$

При обробці результатів вимірювань треба пам'ятати, що точність обчислювань повинна бути узгоджена з точністю самих вимірювань. Експериментатори, які тільки починають свою наукову діяльність, часто обчислюють шукану величину з точністю до 5–6 і більше десяткових знаків. Слід розуміти, що для виконання обчислень з врахуванням більшої ніж потрібної кількості десяткових знаків, необхідно більше праці, часових та технічних ресурсів. При цьому, результати розрахунків, представлені з великою кількістю десяткових знаків, створюють необгрунтоване враження про високу точність вимірювань. Числове значення результатів не повинне містити більшого числа знаків після коми, ніж число, що вимірює з найменшою точністю.

Кінцевий результат указують з точністю до останнього десяткового знака, тобто, якщо наведене число 3,274, то при цьому мається на увазі, що цифра 7 визначена точно, а 4 – наближено. Помилку всюди, де існує можливість, бажано вказувати (наприклад, $3,274 \pm 0,002$). Якщо похибка вимірювань більша (наприклад, $\Delta x = 0,012$), то в скороченій формі кінцевий результат буде виглядати як 3,27, а не 3,274. У той же час при $\Delta x = \pm 0,0003$ результат треба записувати як 3,2740.

Побудова графіків та графічні методи обробки експериментальних даних

Залежності між вимірюваними величинами зручно зображати графічно. Для побудови графіка необхідно на підставі проведених вимірювань скласти таблицю, у якій кожному значенню одної величини – аргументу (x) відповідає визначене значення іншої – функції (y). При побудові графіка значення незалежної змінної, як правило, відкладають на осі абсцис, а значення функції – на осі ординат. Біля кожної осі потрібно написати позначення величини, яка відкладається, і вказати, у яких одиницях вона виражена.

Для правильної побудови графіка важливим є вибір масштабу. Намагаються завжди вибрати масштаб так, щоб графік зайняв увесь лист, а розміри графіка по обом осям вийшли приблизно однаковими, тобто щоб крива, наскільки можливо, була нахилена до осей під кутом, близьким до 45° . При цьому треба врахувати, що перетинання координатних осей не обов'язково повинне збігатися з нульовим значенням x і y .

Після обрання масштабу і початку координат на підставі даних таблиці наносять на координатну площину точки. Якщо можна визначити абсолютні похибки вимірювань Δx і Δy , то їх відкладають з обох боків від точки у вигляді хреста так, щоб точка опинилась у його центрі. Оскільки вимірювання проводяться з тими чи іншим похибками, то точки зазвичай не лягають точно на одну криву. Тому між точками проводять пряму або плавну лінію, що проходить через інтервали абсолютних похибок так, щоб найбільш можлива кількість потрапила на цю лінію, а інші розташувались рівномірно: вище або нижче її. Побудований графік дозволяє виявити ті вимірювання, які були виконані погано або невірно. Якщо будь-яка точка сильно випадає з графіка, її треба відкинути, а вимірювання, що їй відповідає повторити.

Часто при побудові графіків на осях координат відкладають не самі величини, а їх функції (квадрати, логарифми і т.п.). Справа в тому, що оскільки завжди є певне розходження експериментальних точок, то зручніше

будувати графік, якщо шукана величина має лінійний характер. Тому намагаються обрати такі координати, щоб графік мав вигляд прямої лінії. Якщо при цьому відома математична форма (рівняння) наданої графічної залежності, то за графіком можна визначити параметри цього рівняння. Наприклад, дуже часто результати вимірювань описуються рівнянням прямої $y = a + bx$, де a і b – постійні коефіцієнти. Коефіцієнти a і b знаходяться графічно. Параметр a визначається ординатою точки перетинання прямої з віссю y (дійсно, при $x = 0$, $y = a$). Коефіцієнт b дорівнює, як впливає з рівняння, кутовому коефіцієнту прямої, тобто його можна знайти за відношенням прирощення ординати до прирощення абсциси.

Для побудування графіка показникової функції типу $Y = A \exp(\pm kx)$ зручна напівлогарифмічна залежність системи координат – по одній вісі рівномірний масштаб, а по іншій – логарифмічний. Дійсно, після логарифмування отримаємо рівняння прямої лінії

$$\lg Y = \lg A \pm kx/2,3. \quad (12)$$

Якщо позначити $\lg Y = y$, $\lg A = a$, $k/2,3 = b$, то рівняння (12) збігається до рівняння $y = a + bx$.

Графіки ступеневих функцій типу $Y = A \cdot X^{\pm k}$ зручно зображати злогарифмічним масштабом по обох осях:

$$\lg Y = \lg A \pm k \lg X. \quad (13)$$

Нехай $\lg Y = y$, $\lg A = a$, $k = b$, $\lg X = x$, тоді повернемося до рівняння $y = a + bx$.

Користуючись графіком, можна також знаходити значення функції для таких значень x , які не вимірювались, тобто проводити інтерполювання. Для цього з обраної точки осі абсцис до перетинання з графіком треба провести ординату, довжина якої буде відповідати шуканому значенню y .

Стандартні електродні потенціали у водних розчинах при 25 °С

№	Електрод	Реакція	E ⁰ , В
Електроди, оборотні відносно катіону			
1	Li ⁺ , Li	Li ⁺ + e → Li	—3,045
2	K ⁺ , K	K ⁺ + e → K	—2,925
3	Rb ⁺ , Rb	Rb ⁺ + e → Rb	—2,925
4	Cs ⁺ , Cs	Cs ⁺ + e → Cs	—2,923
5	Ra ²⁺ , Ra	Ra ²⁺ + 2e → Ra	—2,916
6	Ba ²⁺ , Ba	Ba ²⁺ + 2e → Ba	—2,906
7	Sr ²⁺ , Sr	Sr ²⁺ + 2e → Sr	—2,888
8	Ca ²⁺ , Ca	Ca ²⁺ + 2e → Ca	—2,866
9	Na ⁺ , Na	Na ⁺ + e → Na	—2,714
10	La ³⁺ , La	La ³⁺ + 3e → La	—2,522
11	Mg ²⁺ , Mg	Mg ²⁺ + 2e → Mg	—2,363
12	H ⁺ , H	H ⁺ + e → H	—2,106
13	Th ⁴⁺ , Th	Th ⁴⁺ + 4e → Th	—1,899
14	Be ²⁺ , Be	Be ²⁺ + 2e → Be	—1,847
15	U ³⁺ , U	U ³⁺ + 3e → U	—1,789
16	Al ³⁺ , Al	Al ³⁺ + 3e → Al	—1,662
17	Mn ²⁺ , Mn	Mn ²⁺ + 2e → Mn	—1,180
18	Cr ²⁺ , Cr	Cr ²⁺ + 2e → Cr	—0,913
19	Zn ²⁺ , Zn	Zn ²⁺ + 2e → Zn	—0,763
20	Cr ³⁺ , Cr	Cr ³⁺ + 3e → Cr	—0,744
21	Fe ²⁺ , Fe	Fe ²⁺ + 2e → Fe	—0,440
22	Cd ²⁺ , Cd	Cd ²⁺ + 2e → Cd	—0,403
23	In ³⁺ , In	In ³⁺ + 3e → In	—0,343
24	Tl ⁺ , Tl	Tl ⁺ + e → Tl	—0,336
25	Co ²⁺ , Co	Co ²⁺ + 2e → Co	—0,277
26	Ni ²⁺ , Ni	Ni ²⁺ + 2e → Ni	—0,250
27	Sn ²⁺ , Sn	Sn ²⁺ + 2e → Sn	—0,136
28	Pb ²⁺ , Pb	Pb ²⁺ + 2e → Pb	—0,126
29	Fe ³⁺ , Fe	Fe ³⁺ + 3e → Fe	—0,036
30	Cu ²⁺ , Cu	Cu ²⁺ + 2e → Cu	+0,337
31	Cu ⁺ , Cu	Cu ⁺ + e → Cu	+0,521
32	Hg ₂ ²⁺ , Hg	½ Hg ₂ ²⁺ + e → Hg	+0,798
33	Ag ⁺ , Ag	Ag ⁺ + e → Ag	+0,799
34	Hg ²⁺ , Hg	Hg ²⁺ + 2e → Hg	+0,854
35	Au ³⁺ , Au	Au ³⁺ + 3e → Au	+1,498
36	Pu ³⁺ , Pu	Pu ³⁺ + 3e → Pu	+2,03

Li→Rb→K→Ba→Sr→Ca→Na→Mg→Al→Mn→Cr→Zn→Fe→Cd→Co→Ni→Sn→Pb→H
→Sb→Bi→Cu→Hg→Ag→Pd→Pt→Au