

## Лабораторна робота № 7

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

**Мета роботи** – закріплення теоретичних знань про електрохімічну обробку металів; проведення експериментальних досліджень залежності продуктивності процесу розчинення металу заготовки від електричних режимів оброблення.

#### 7.1 Загальні відомості про процес електрохімічної обробки металів

Електрохімічна обробка (ЕХО) металів основана на здатності їх розчинятися в результаті окисних реакцій, що відбуваються в середовищі електропровідного розчину (електроліту) під дією на нього постійного електричного струму. Такий хімічний процес розчинення металів називається електролізом. Схему електролізу показано на рисунку 7.1.

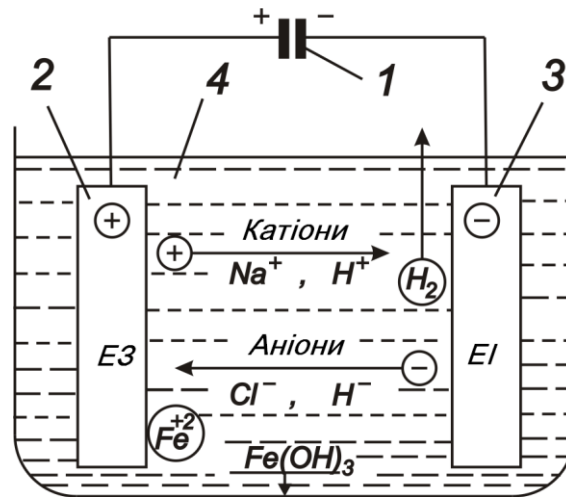


Рисунок 7.1 – Схема електролізу

Рух іонів розглянемо в найчастіше застосовуваному для ЕХО електроліті – водному розчині хлористого натрію  $\text{NaCl}$ . При подачі на електроди напруги від джерела живлення 1 аніони гідроксиду і катіони водню разом з аніонами хлору і катіонами натрію під дією сил електричного поля переміщуються відповідно до катода й анода. Атоми поверхневого шару анода 2, тобто електрода-заготовки (ЕЗ), одержуючи від аніонів  $\text{Cl}^-$  і  $\text{OH}^-$ , що рухаються до нього, додаткові негативні заряди, перетворюються на позитивні іони заліза  $\text{Fe}^{+2}$ . Останні під дією катодних і анодних реакцій взаємодіють з іонами  $\text{OH}^-$  й утворюють гідрат окису заліза  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , що у вигляді нерозчинної хімічної сполуки випадає в осад. Таким чином, відбувається електрохімічне анодне розчинення заліза. Одночасно з цим на катоді 3, тобто на електроді-інструменті (ЕІ), виділяється водень  $\text{H}_2$ , що виходить з електроліту 4 у вигляді пухирчиків. Реакції, що відбуваються на катоді зазвичай не руйнують його, тобто ЕІ при ЕХО не спрацьовується.

Зі схеми рисунка 7.1 видно, що електроліз відбувається в міжелектродному проміжку (МЕП), де анодне розчинення в нейтральних електролітах супроводжується утворенням гідратів окису металів, що випадають в осад і засмічують МЕП. Так, якщо доступ електроліту на деякі ділянки МЕП за якихось причин утруднений або цілком припиняється, то нормальне проходження процесу ЕХО в цьому разі порушується. Для нормалізації процесу ЕХО необхідно, зокрема, вчасно видалити продукти розчинення (шлам) з МЕП, що забезпечується при швидкості витікання електроліту від 5 до 20 м/с. Такі швидкості дозволяють виконувати оброблення при підвищеній густині струму (до 1 А/мм<sup>2</sup>) і сприяють охолодженню електроліту, що нагрівається більшою силою струму.

## 7.2 Основні схеми процесів ЕХО

Під розмірною ЕХО розуміють процес одержання із заготовки деталі необхідної форми і розмірів внаслідок анодного розчинення металу.

Існує кілька схем ЕХО:

1. Оброблення з нерухомими ЕІ. За цією схемою одержують місцеві полегшення в деталях, отвори в листових металах, наносять інформацію, видаляють задирки, скруглюють гострі кромки, заточують інструмент.

2. Прошивання заглиблень, порожнин, отворів. За цією схемою виготовляють робочі порожнини кувальних штампів, прошивають отвори, пази, пера лопаток турбін.

3. Протягання зовнішніх і внутрішніх поверхонь у заготовках, що мають попередньо оброблені поверхні, по яких можна базувати ЕІ. За цією схемою виконують чистову обробку циліндричних отворів, шліців, гвинтових канавок.

4. Розрізування заготовок. ЕІ є обертовим диском. За цією схемою виконують пази, щілини, підрізування пружин.

5. Шліфування або полірування. Використовують обертовий ЕІ циліндричної форми, що поступально рухається вздовж заготовки. Цю схему використовують як кінцеву операцію при виготовленні тонких пластин, а також деталей із в'язких і міцних сплавів.

### 7.2.1 Технологічні характеристики процесів ЕХО

Основними технологічними характеристиками процесів ЕХО є продуктивність, точність розмірів і отриманої форми, а також шорсткість оброблених поверхонь.

До факторів, що впливають на технологічні характеристики процесів ЕХО, належать: об'ємний електрохімічний еквівалент оброблюваного металу  $k$ ; склад застосовуваного електроліту, його питому електропровідність  $\chi$ ; напругу джерела живлення  $U$ ; анодну густину струму  $i$ ; коефіцієнт виходу за струмом  $\eta$ , величину міжелектродного проміжку  $\alpha$ ; технологічний припуск  $Z$ .

Відповідно до першого закону Фарадея об'єм розчиненого металу  $V$

при електролізі прямо пропорційний об'ємному електрохімічному еквіваленту  $k$  певного металу, силі струму  $I$  і часу  $\tau$ , мм<sup>3</sup>:

$$V = kI\tau. \quad (7.1)$$

Об'ємний електрохімічний еквівалент  $k$  металу залежить від його валентності й атомної маси.

На практиці об'єм розчиненого металу не завжди відповідає величині, розрахованій за рівнянням (7.1). Так, об'єм розчиненого металу істотно залежить від густини струму  $i$  на аноді, яка визначається відношенням сили струму  $I$  до площі  $F$  анода, А/мм<sup>2</sup>:

$$i = \frac{I}{F}. \quad (7.2)$$

Ефективність процесів ЕХО оцінюють коефіцієнтом виходу металу за струмом:

$$\eta = \frac{V_{\phi}}{V}, \quad (7.3)$$

де  $V_{\phi}$  – фактичний об'єм розчиненого металу при пропусканні певної кількості електроенергії, мм<sup>3</sup>.

З урахуванням рівняння (7.1) і коефіцієнта  $\eta$  фактичний об'єм розчиненого металу, мм<sup>3</sup>, визначають за формулою

$$V_{\phi} = kI\tau\eta. \quad (7.4)$$

Фактичний об'єм розчиненого металу  $V_{\phi}$  зазвичай завжди менше розрахункового об'єму  $V$  (при активному розчиненні  $\eta=0,5\dots0,9$ , при пасивному –  $\eta < 0,5$ ).

Якісні показники характеристик процесу ЕХО значною мірою залежать від застосування технологічних схем ЕХО.

### 7.2.2 Технологічні схеми ЕХО

Операції ЕХО за технологічним режимом умовно поділено на дві групи:

1. ЕХО при невисокій густині струму (від 0,02 до 0,03 А/мм<sup>2</sup>) у стаціонарному електроліті (ЕХС).

2. ЕХО при високій густині струму (до 1 А/мм<sup>2</sup>) у проточному електроліті (ЕХП).

На рисунку 7.2, а показано принципову схему ЕХО в стаціонарному електроліті для найбільш типової операції – електролітичного шліфування або полірування: 1 – джерело живлення; 2 – резистор; 3 – електроліт; 4 – ванна; 5 – електрод-заготовка (анод); 6 – плівка продуктів розчиненого металу (шлам); 7 – силові лінії струму; 8 – електрод-інструмент (катод).

Проходження електричного струму через електроди 5 і 8 й електроліт 3 супроводжується розчиненням поверхні ЕЗ 5 в електроліті й утворенням плівки з продуктів розчинення в западинах шорсткості, що ізолює їх від проходження струму, зосереджуючи його силові лінії 7 на незахищених ви-

ступах поверхні ЕЗ (рисунок 7.2, б). З цієї причини виступи швидко розчиняються і мікронерівність згладжується.

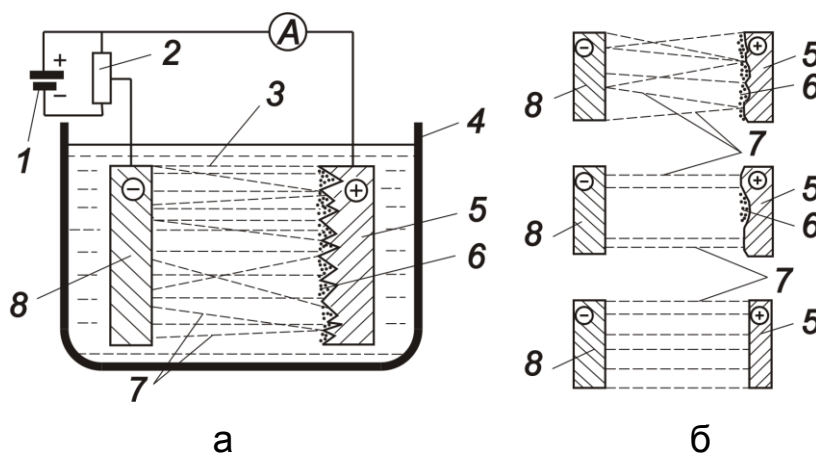


Рисунок 7.2 – Принципова схема ЕХО в стаціонарному електроліті:  
а – електрична схема; б – механізм розчинення виступів

На відміну від розглянутого процесу ЕХС розмірна ЕХП відбувається при безперервному й інтенсивному відновленні електроліту, що прокачується під тиском через МЕП. Примусове видалення електроліту з робочої зони забезпечує формоутворення оброблюваних поверхонь з меншими, ніж при електрохімічному травленні і поліруванні, величинами МЕП.

Відповідно до цього анодне розчинення металу на ділянках з мінімальним значенням МЕП відбувається на початковій стадії оброблення інтенсивніше, ніж на ділянках з великими значеннями МЕП.

Існує технологічна схема розмірної ЕХП із двома рухомими ЕІ, що розташовані по обидва боки заготовки (рисунок 7.3, а) і зближуються назустріч один одному з подачею  $S$ .

На рисунку 7.3, б зображено схему електрохімічного формоутворення фасонних поверхонь тіл обертання. У цьому випадку робоча подача  $S$  здійснюється шляхом переміщення ЕІ до оберткової заготовки.

Утворення канавок різної форми може виконуватися за технологічною схемою, показаною на рисунку 7.3, в. При цьому ЕЗ і ЕІ в процесі оброблення є нерухомими відносно один одного, і, отже, значення МЕП буде зростати в міру збільшення часу оброблення. Поверхні ЕІ, що не беруть участі у формоутворенні деталі, при такій схемі захищають діелектричним шаром.

Переваги ЕХС: можливість одержання поверхонь складнопрофільованих деталей з малою шорсткістю без застосування спеціального інструменту.

Недоліки ЕХС: невисока питома продуктивність і труднощі збільшення її через підвищення густини струму; чутливість до змін стану і складу електроліту.

Переваги ЕХП: висока продуктивність, що принципово не має обмежень зростання; відсутність спрацювання ЕІ; низька шорсткість поверхні та висока точність оброблення при одночасному підвищенні продуктивності.

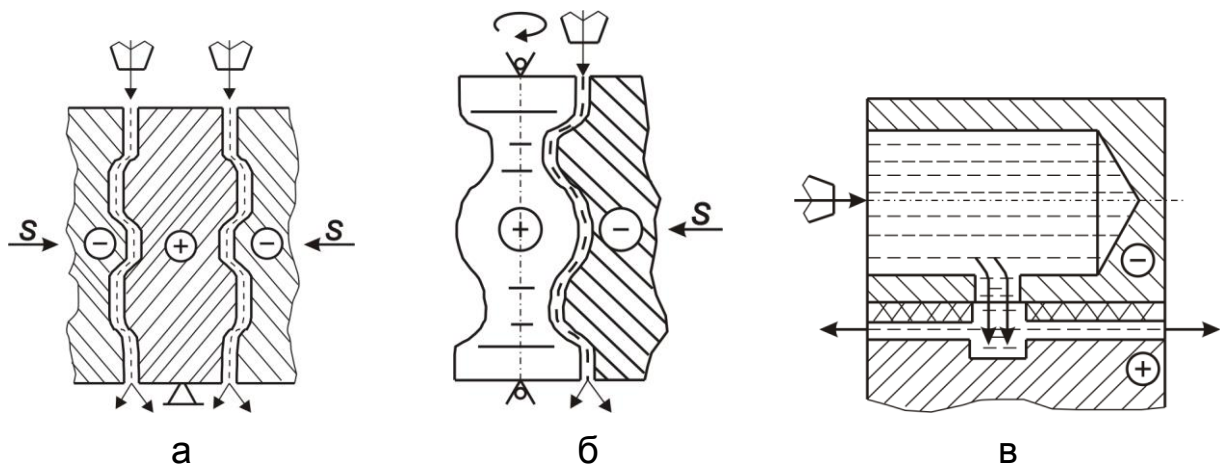


Рисунок 7.3 – Технологічні схеми процесів ЕХО в проточному електроліті

Недоліки ЕХП: висока енергоємність процесу, необхідність застосування спеціальних заходів для видалення шламу і газу; обов'язкове забезпечення інтенсивної циркуляції електроліту через МЕП.

### 7.3 Продуктивність процесів ЕХО

Продуктивність оздоблювальних процесів ЕХО характеризується швидкістю оброблення, що виражається в різних одиницях вимірів фізичних величин. Так, при електрохімічному травленні швидкість оброблення визначається кількістю металу, що знімається за одиницю часу, і залежно від виду оброблюваного металу, складу електроліту та інших факторів коливається від 0,05 до 0,2 мм/хв. Продуктивність електрохімічного полірування визначають за тривалістю процесу, що при поліруванні вуглецевих сталей становить від 5 до 10 хв, алюмінію – від 2 до 3 хв.

Продуктивність розмірного електрохімічного формоутворення характеризується швидкістю анодного розчинення металу, що виражається в лінійних (мм/хв) або об'ємних (мм<sup>3</sup>/хв) одиницях.

При електрохімічному формоутворенні з нерухомими електродами, коли величина МЕП змінюється в процесі оброблення, продуктивність залежить від багатьох факторів, у першу чергу від тривалості процесу оброблення. Так, зі збільшенням часу оброблення відповідно зростає МЕП і знижується швидкість електрохімічного розчинення.

Об'ємний електрохімічний еквівалент  $k$  для кожного виду металу має певне значення і тому не впливає на продуктивність розмірної ЕХО. Зміною ж параметрів  $U$ ,  $\alpha$ ,  $\chi$ ,  $\eta$  до граничних значень можна істотно знизити або підвищити продуктивність розмірного електрохімічного формоутворення.

З підвищенням робочої температури електропровідність  $i$ , відповідно, густина струму на аноді збільшуються. Підвищення швидкості прокачування електроліту в МЕП сприяє більш інтенсивному видаленню шламу з зони оброблення, що також збільшує електропровідність шару електроліту в МЕП.

### 7.3.1 Якість поверхні при ЕХО

При ЕХО якість оброблених поверхонь визначається в основному їхньою шорсткістю.

На відміну від традиційних процесів обробки різанням, коли різець, здійснюючи силове діяння на оброблювану поверхню, утворює на ній деформовані (напружені) шари металу, ЕХО не спричиняє в поверхневих шарах оброблюваного металу будь-яких механічних напружень. Це в ряді випадків позитивно позначається на якості оброблюваних поверхонь.

У загальному вигляді якість оброблюваних поверхонь залежить від сполучення значень таких параметрів як склад електроліту, його температура, швидкість прокачування електроліту через МЕП і густина електричного струму. При обробленні вуглецевих і нержавіючих сталей з використанням розчину хлористого натрію як електроліту шорсткість поверхонь, отримана при розмірній ЕХО, становить від 2,50 до 1,25 мкм.

Підвищення температури електроліту зазвичай негативно позначається на шорсткості поверхонь. Однак у деяких випадках, наприклад при розмірній ЕХО титанових сплавів, з підвищенням температури електроліту якість оброблюваної поверхні підвищується.

Збільшення густини електричного струму зменшує шорсткість оброблюваних поверхонь.

### 7.4 Установка для ЕХО в стаціонарному електроліті

У лабораторній роботі використовується серійна промислова установка для ЕХО в стаціонарному електроліті моделі Е3І-2, основні конструктивні елементи якої показано на рисунку 7.4, а. Для експерименту використовують зразки розміром 40x25x1 мм з листової нержавіючої сталі марки 1Х18Н9Т, які по черзі занурюють у розчин електроліту на глибину 25 мм тривалістю 5 хвилин.

Електроліт для ЕХО нержавіючої сталі має такий хімічний склад, %: фосфорна кислота – 73–74; хромовий ангідрид – 9–10; вода – 15–16. Вимірювання різниці товщини матеріалу вихідного та обробленого зразків  $\Delta S = S_0 - S_1$  (рисунок 7.4, б) проводять за допомогою важільної скоби моделі СР 0-25 з абсолютною похибкою вимірювання 0,002 мм.

Густина струму ЕХО в стаціонарному електроліті встановлюють згідно з технологічними рекомендаціями для нержавіючої сталі:  $i = 16, 20, 24, 28, 32$  А/дм<sup>2</sup>. Ця розмірність густини струму для процесів ЕХО історично загальноприйнята в технології машинобудування.

Оброблення на установці моделі Е3І-2 виконують у такій послідовності:

1. Підготовка установки до роботи:

- установити рухомий контакт 1 реостата в середнє положення;
- закріпити на штативі 2 анодний затискач 3;
- вставити в кронштейн 4 термоконтатор 5 і приєднати його до ланцюга установки за допомогою двох штирків, вставлених у гнізда панелі 6;

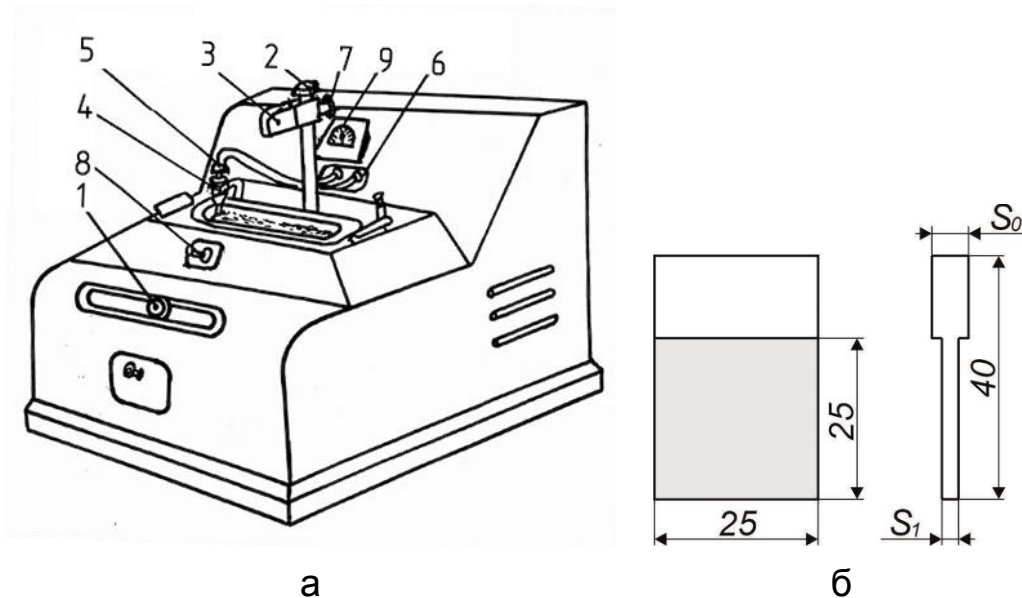


Рисунок 7.4 – Компонування установки ЕЗІ-2 (а) та розміри зразків (б) для ЕХО в стаціонарному електроліті: 1 – рухомий контакт реостата; 2 – штатив; 3 – анодний затискач; 4 – кронштейн; 5 – термоконтактор; 6 – панель; 7 – гвинт; 8 – тумблер; 9 – амперметр

- опустити термоконтактор 5 в електроліт на 15 мм;
- увімкнути установку до мережі змінної напруги 220 В.

2. Порядок проведення ЕХО:

- установити в анодний затискач 3 заготовку, опустити її у ванну до лінії позначення занурення і закріпити анодний затискач гвинтом 7;
- увімкнути струм тумблером 8;
- установити за допомогою рухомого контакту реостата 1 необхідну силу струму за амперметром 9 для заданої густини струму;
- обробити заготовку протягом заданого часу;
- вимкнути струм тумблером 8;
- установити рухомий контакт реостата 1 у середнє положення;
- вийняти заготовку з ванни і, утримуючи її пінцетом, видалити з анодного затискача 3;
- промити заготовку проточною водою.

**7.4.1 Техніка безпеки при роботі на установці для ЕХО**

1. Забороняється вмикати установку і працювати на ній без дозволу викладача або навчального майстра.
2. Установка для ЕХО повинна бути заземлена.
3. При підготовці установки до роботи і під час роботи на ній не можна допускати попадання електроліту на відкриті частини тіла (обличчя і руки) і одяг. Уражені ділянки тіла необхідно промити струменем проточної води.
4. При роботі на установці необхідно стояти на гумовому килимку і користуватися гумовими рукавичками.
5. На ділянці установок ЕХО палити забороняється.

## 7.5 Комплектування лабораторної роботи

1. Установка для ЕХО в стаціонарному електроліті моделі ЕЗІ-2.
2. Скоба важільна моделі СР 0-25 (ціна поділки – 0,002 мм).
3. Зразки-свідки зі сталі марки 1Х18Н9Т.
4. Мікроскоп вимірвальний МБС-9 (збільшення – від 4 до 100).

## 7.6 Порядок проведення експериментальних досліджень

1. Вивчити основні відомості про розмірну ЕХО металів і її технологічні схеми, техніку безпеки, конструкцію установки (див. рисунок 7.4).
2. Виміряти товщину  $S_0$  і визначити шорсткість зразків перед обробленням на установці.
3. Розрахувати величину струму за заданою у таблиці 7.1 густиною струму відповідно до формули (7.2).
4. Обробити заготовки на установці ЕХО протягом заданого часу, змінюючи густина струму для кожного зразка.
5. Виміряти товщину оброблених заготовок  $S_I$  і обчислити фактичний об'єм розчиненого металу кожної заготовки. Оброблення трьох торців можна не враховувати.
6. Визначити параметри шорсткості на оброблених поверхнях кожної заготовки.
7. Обчислити продуктивність процесу з урахуванням режиму оброблення кожної заготовки.
8. Побудувати графік залежності продуктивності процесу ЕХО в стаціонарному електроліті від густини струму  $Q = f(i)$ .
9. Відповісти на контрольні запитання.
10. Оформити звіт з лабораторної роботи.

Таблиця 7.1 – Протокол. Залежність продуктивності ЕХО від густини струму

1. Матеріал заготовки – .						
2. Матеріал ЕІ – дріт діаметром 3 мм із технічного титану марки ВТ1-0.						
3. Час оброблення $\tau = 5$ хв.						
4. Площа оброблюваної поверхні, $\text{мм}^2$ , $F =$ .						
5. Склад електроліту – .						
6. Температура електроліту $t = 30$ °С.						
Номер заготовки	Електричний режим оброблення		Параметри шорсткості, мкм		Об'єм розчиненого металу $V$ , $\text{мм}^3$	Продуктивність процесу $Q$ , $\text{мм}^3/\text{хв}$
	густина струму $i$ , $\text{А}/\text{дм}^2$	сила струму $I$ , $\text{А}$	до оброблення	після оброблення		
1	16					
2	20					
3	24					
4	28					
5	32					

## 7.7 Зміст звіту

1. Короткий конспект, що відбиває основні схеми і технологічні характеристики процесу ЕХО металів (див. підрозділи 7.1 і 7.2, рисунки 7.1 і 7.2).
2. Схема процесу ЕХО в проточному електроліті (див. рисунок 7.3, а).
3. Протокол результатів експериментальних досліджень ЕХО в стаціонарному електроліті (див. таблицю 7.1).
4. Графік залежності продуктивності ЕХО в стаціонарному електроліті від густини струму  $Q = f(i)$ .
5. Висновки про результати проведених експериментальних досліджень.

### Контрольні запитання

1. Які фактори впливають на технологічні характеристики процесів ЕХО?
2. Назвіть особливості технологічних процесів розмірної ЕХО з ЕІ, що переміщується в проточному електроліті.
3. Назвіть особливості проєктування ЕІ для різних технологічних схем ЕХО.
4. Від яких параметрів устаткування залежить продуктивність процесу ЕХО?
5. Перелічіть переваги та недоліки процесу розмірної ЕХО у стаціонарному електроліті.
6. Перелічіть переваги та недоліки розмірної ЕХО у проточному електроліті.