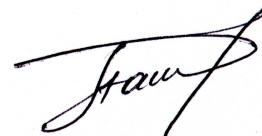


Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

Пташник Вадим Вікторович



УДК 504.4.062.2: 621.35

**ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ОДЕРЖАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ**

21.06.01 – екологічна безпека

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Суми – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** кандидат фізико-математичних наук, доцент  
**Бордун Ігор Михайлович,**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
доцент кафедри прикладної фізики і  
наноматеріалознавства

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Петрук Василь Григорович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
директор інституту екології та екологічної кібернетики,  
завідувач кафедри екології та екологічної безпеки

кандидат технічних наук, доцент  
**Трунова Інна Олександрівна,**  
Сумський державний університет,  
доцент кафедри прикладної екології

Захист відбудеться «26» вересня 2014 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розіслано «\_\_\_» серпня 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради К 55.051.04,  
кандидат технічних наук, доцент



Л. Л. Гурець

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Діяльність людини, пов'язана з одержанням, використанням, та утилізацією промислових водних розчинів призводить до забруднення, виснаження та деградації світових запасів води. Щорічні обсяги промислового водоспоживання сягають 440 мільярдів кубометрів, що значно перевищує споживання інших сировинних та енергетичних ресурсів. Водночас, запаси та доступність прісної води невпинно зменшуються: зростає концентрація розчинених пестицидів, поверхнево активних речовин, іонів важких металів тощо. Внаслідок термодинамічних обмежень очисні системи не здатні повернути воду у вихідний стан. Тому значні обсяги промислового водоспоживання та скидів відпрацьованих вод є вагомими чинниками антропогенного навантаження на гідросферу.

Для зменшення негативного впливу на довкілля стратегія раціонального водокористування повинна забезпечити мінімальне залучення у виробничо-господарську діяльність людини природних мінеральних ресурсів, які, поширюючись у вигляді розчинених у воді сполук, створюють реальну загрозу довкіллю. Одним з запозичених у природи технологічних процесів, що відповідає цим вимогам, є електрохімічне перетворення речовин. Роботи, проведені науковими колективами під керівництвом акад. В. В. Гончарука та проф. В. М. Бахіра показали, що потенціал електрохімічного очищення води значно переважає над традиційними методами за екологічними, економічними та якісними показниками.

Також електрохімічна активація (ЕХА) дозволяє без додаткового залучення хімічних реагентів та з мінімальними затратами енергії перетворити прісну або слабомінералізовану природну воду у високоактивний промисловий розчин з різноманітними функціональними властивостями. Тому розроблення екологічно безпечних технологій одержання промислових водних розчинів з використанням електрохімічної активації є актуальною та важливою задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до напрямку наукової діяльності кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України – «Розробка фізико-хімічних методів водопідготовки для технологічних процесів та модифікації матеріалів на основі електрохімічного та ультразвукового впливу на воду та водні розчини» (номер державної реєстрації 0113U005278). Наукові положення та висновки дисертації пов'язані також з виконанням робіт за держбюджетною науково-дослідною темою Міністерства освіти та науки України: «Інтеркаляційна кристалонаноінженерія екологічно безпечних мінералів для створення пристроїв надвисокоємкого генерування і накопичення електричної енергії» (номер державної реєстрації № 0112U001203).

**Мета і задачі досліджень.** Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня екологічної безпеки шляхом розроблення та наукового обґрунтування технологій одержання промислових водних розчинів методом електрохімічної активації, що забезпечить раціональне використання водних, мінеральних і енергоресурсів та зменшить техногенне навантаження на навколишнє середовище. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- забезпечити раціональне використання енергоресурсів за рахунок розроблення нового методу контролю процесу електрохімічної активації водних розчинів у діафрагмових електролізерах;
- оцінити ефективність відомих та розробити нові методи збереження метастабільних властивостей аноліту та католіту;
- визначити характеристики процесів, що відбуваються на різних етапах електрохімічної активації водних розчинів, для наукового обґрунтування ефективного способу заміни ними екологічно небезпечних промислових водних розчинів для екологізації виробництв зі збереженням економічних та технологічних показників;
- розробити екологічно безпечну технологію модифікації поверхні активованого вугілля (АВ) для електродів суперконденсаторів подвійного електричного шару з водним електролітом;
- розробити екологічно безпечну технологію одержання води замішування для зменшення споживання хімічних модифікаторів зі збереженням високих фізико-механічних характеристик гіпсового каменю;
- розробити технологію одержання екологічно безпечного дезінфектанта барометричної води у цукровому виробництві.

**Об'єктом дослідження** є процес створення екологічно безпечних технологій одержання промислових водних розчинів.

**Предметом дослідження** є промислові електрохімічно активовані водні розчини.

Для досягнення поставленої мети було використано такі **методи дослідження**: іонометричне (потенціометричне) визначення водневого показника (рН) та окисно-відновного потенціалу (ОВП) – для відслідковування фізико-хімічних перетворень у водному розчині під час ЕХА та релаксації водного розчину; пряму кондуктометрію – для визначення зміни питомої електропровідності активованих розчинів; спектрофотометрію та люмінесцентний аналіз – для аналізу фізико-хімічних перетворень та процесів самоорганізації у водному середовищі під час ЕХА та подальшої релаксації; термографію та термометрію – для контролю супутніх теплових потоків процесу ЕХА; клиновидну дегідратацію – для дослідження взаємодії активованих розчинів з білковими молекулами; визначення межі міцності при стиску та згині гіпсового каменю та термінів тужавіння гіпсового тіста – для вивчення впливу стабільних та метастабільних складових ЕХА розчинів на процес кристалізації будівельного гіпсу; мікробіологічний аналіз – для встановлення біологічної активності ЕХА розчинів; дослідження суперконденсаторів у гальваностатичному режимі заряду-розряду – для визначення зміни питомої ємності вуглецевих матеріалів в результаті їх обробки ЕХА водними розчинами.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у тому, що:

1. Вперше здійснено модифікування поверхні активованого вугілля електрохімічно активованими низькомінералізованими розчинами хлориду калію, який забезпечує збільшення питомої ємності матеріалу електродів суперконденсаторів на 15–25 %, що є альтернативою існуючим екологічно небезпечним промисловим технологіям.
2. Вперше використано електрохімічно активовану воду замішування будівельного гіпсу, яка дала змогу покращити фізико-механічні властивості гіпсового ка-

меню, зокрема збільшити міцність при згині на 31 %, а при стиску – на 29 %, що дозволило зменшити обсяги використання хімічних модифікаторів, а, відтак, і негативний вплив на довкілля відходів їх виробництва.

3. Вперше встановлено механізми взаємодії активованих водних розчинів з білковими молекулами за допомогою методу клиновидної дегідратації та показано ефективність використання дезінфікуючих засобів на основі електрохімічно активованих розчинів хлориду натрію на прикладі різних мікроорганізмів, що сприяє впровадженню екологічно безпечного обладнання для дезінфекції.
4. Удосконалено фізико-хімічну модель процесу електрохімічної активації у стаціонарних діафрагмових електролізерах з постійною напругою на електродах, що дало змогу пов'язати зміну властивостей одержуваних водних розчинів з різною глибиною активації та обґрунтувати необхідність її контролю для одержання екологічно безпечних промислових водних розчинів та зменшення енергозатратності процесу їх отримання.
5. Дістало подальшого розвитку дослідження релаксаційних процесів у електрохімічно активованих розчинах, яке показало, що величина релаксаційних змін залежить від умов одержання та зберігання розчинів, однак їхні параметри релаксують до квазістабільного стану впродовж 50 год, що дозволяє після цього терміну використати їх повторно, або повернути у природні водойми без додаткового очищення та шкоди для довкілля.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі результатів проведених досліджень:

- запропоновано використати контроль сили струму, який протікає крізь електролізер за постійної напруги на електродах, як оперативний метод контролю процесу електрохімічної активації водних розчинів з концентраціями до 0,01 М та широкою областю вихідних температур, що дозволяє оптимізувати процес електрохімічної активації та зменшити енергозатратність одержання промислових водних розчинів, підвищивши при цьому їх ефективність (патент України на корисну модель № 73616);
- створено нову технологію модифікації складу поверхневих груп АВ у електрохімічно активованих водних розчинах, яка дозволяє забезпечити високий рівень ресурсо- та енергозбереження за рахунок ощадного використання доступних матеріалів та невисоких енергетичних затрат на її реалізацію. Запропонована технологія підвищує екологічну безпеку процесу виготовлення суперконденсаторів, зменшуючи утворення небезпечних технологічних відходів (патент України на корисну модель № 78472);
- розроблено нову технологію покращення фізико-механічних властивостей гіпсового каменю з використанням для замішування католіту ЕХА води, що дозволяє відмовитись від використання традиційних хімічних модифікаторів для збільшення міцності гіпсового каменю при стиску та при згині;
- розроблено технологію одержання екологічно безпечного дезінфектанту на основі аноліту ЕХА розчину хлориду натрію для дезінфекції у промислових умовах, що характеризується низькою собівартістю обладнання та самих розчинів і простотою впровадження в існуючі виробничі схеми. Розроблений дезінфектант апробовано на Чортківському цукровому заводі ТзОВ «Радехівський цукор» (Тернопільська обл., Чортківський район, с. Заводське);

– науково-методичні рекомендації щодо фізико-хімічного дослідження об'єктів водного середовища, особливості використання методу клиновидної дегідратації для діагностування стану біологічних об'єктів та людини, пояснення механізмів поглинання, збудження та люмінесценції, які застосовуються для екологічного моніторингу водного середовища, використовуються в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» та застосовуються під час викладання дисциплін «Екологічний контроль», «Фізика рідкого стану» та «Сучасні методи фізичних досліджень» (акт впровадження від 23.01.2014 року).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійним, завершеним дослідженням автора у галузі екологічної безпеки. Автор здійснив підбір, систематизацію та аналіз літературних джерел; здійснив апробацію методу контролю глибини ЕХА за зміною сили струму у діафрагмовому електролізері; показав можливість використання ЕХА для одержання екологічно безпечних промислових водних розчинів, дослідив їх властивості та підтвердив ефективність використання цих розчинів у процесах модифікації поверхні вуглецевих пористих матеріалів, замішування будівельного гіпсу та дезінфекції у виробництві цукру.

Вибір об'єктів дослідження, постановка завдань, обговорення та аналіз одержаних результатів здійснено разом з науковим керівником к.ф.-м.н., доц. Бордуном І. М. Основні результати дисертаційної роботи, подані та опубліковані у співавторстві, отримані за безпосередньої участі автора на всіх етапах роботи. Особистий внесок автора деталізовано у списку праць опублікованих за темою дисертації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи було представлено та обговорено на: II Міжнародній конференції «Фізичні методи в екології, біології та медицині» (Львів-Ворохта, 2009), Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (Тернопіль, 2010), III Міжнародній конференції «Фізичні методи в екології, біології та медицині» (Львів-Шацьк, 2010), IX відкритій науковій конференції професорсько-викладацького складу Інституту прикладної математики та фундаментальних наук (Львів, 2010), X та XI Міжнародній науково-практичній конференції «Ресурси природних вод карпатського регіону» (Львів, 2011, 2012), II Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2012), Міжнародній науково-практичній конференції «Вода і довкілля» (Київ, 2012), Міжнародному науково-технічному семінарі «Системи контролю навколишнього середовища» (Севастополь, 2012), Міжнародній науково-технічній конференції «Новітні науково-технічні рішення в цукровій промисловості» (Львів-Варшава, 2013), XVI відкритій науково-технічній конференції Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки з проблем електроніки та інфокомунікаційних систем (Львів, 2013), Міжнародній міждисциплінарній науковій конференції «Біологічно активні речовини і матеріали: фундаментальні та прикладні питання отримання та застосування» (Новий Світ, 2013).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 21 наукову працю, зокрема 2 статті у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 7 статей у наукових фахових виданнях України, 2 патенти України на корисну модель та 10 публікацій у збірниках тез доповідей і матеріалах конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний зміст роботи викладено на 131 сторінці. Робота містить 55 рисунків, 7 таблиць і 194 бібліографічних найменування. Її загальний обсяг складає 159 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і основні задачі досліджень, наведено об'єкт, предмет і методи досліджень, відображено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача та подано відомості про апробацію результатів роботи і публікації.

**Перший розділ** присвячено аналізу існуючої патентної та науково-технічної інформації про методи ЕХА водних розчинів, контроль властивостей продуктів ЕХА, технологічне застосування ЕХА водних розчинів. Особливу увагу приділено оцінці рівня екологічної безпеки ЕХА розчинів у порівнянні з традиційними технологічними розчинами.

Відзначено недостатнє вивчення властивостей ЕХА розчинів як відразу після їх одержання, так і у процесі релаксаційних змін. Наведено технології, де ЕХА розчини практично не використовують та обґрунтовано перспективи використання таких розчинів у вказаних технологіях з метою зменшення техногенного навантаження на довкілля. На основі проведеного літературного огляду визначено основні напрями досліджень.

У **другому розділі** детально розглянуто та описано об'єкти та методи проведення досліджень, зокрема: іонометричне (потенціометричне) вимірювання рН та ОВП, пряма кондуктометрія, спектрофотометрія та люмінесцентний аналіз, термографія та термометрія, клиновидна дегідратація, мікробіологічний аналіз, визначення меж міцності гіпсового каменю та термінів тужавіння гіпсового тіста, хронопотенціометричне дослідження суперконденсаторів подвійного електричного шару. Наведено розроблені автором конструкції електролізерів і методики дослідження електрохімічних процесів у запропонованих апаратах. Відзначено специфіку та особливості у проведенні досліджень та вимірювань.

У **третьому розділі** для наукового обґрунтування технологій одержання екологічно безпечних промислових водних розчинів з використанням ЕХА, зменшення техногенного навантаження на довкілля та споживання енергоресурсів розроблено метод контролю ЕХА водних розчинів, вивчено процеси, що відбуваються під час активації дистильованої та водопровідної води і розчинів з контрольованим хімічним складом за постійної напруги на електродах електролізера, а також досліджено властивості отримуваних ЕХА розчинів та релаксаційні процеси у них.

Під час ЕХА дистильованої води сила струму, що протікає крізь електролізер (рис. 1) зменшується за залежністю, яку можна описати рівнянням Лінгана для звичайного електролізу, що супроводжується перенесенням іонів крізь діафрагму.

Фактичні зміни рН отриманих метастабільних продуктів активації дистильованої води перевищують теоретично розрахований за витратами струму на реакцію  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \Rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$  рівень, що показує значний вплив різної рухливості протона та гідроксил-іона на процеси ЕХА.

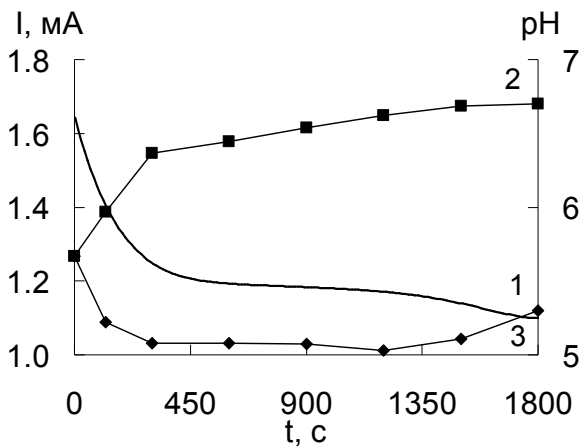


Рисунок 1 – Залежності сили струму (1), що протікає крізь електролізер, та рН католіту (2) і аноліту (3) від часу ЕХА дистильованої води

Зі зростанням рН католіту (рис. 2.в) відбувається пом'якшення водопровідної води. Якщо добуток активності іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{CO}_3^{2-}$  у воді перевищує добуток розчинності карбонату кальцію, то цей процес супроводжується утворенням твердої фази карбонату кальцію, що може бути визначальною причиною зменшення електропровідності католіту на ділянці графіку від 0 до 1000 с (рис. 2.г). Зростання сили струму, що протікає крізь електролізер (рис. 2.а) та провідності католіту (рис. 2.г) після 1000 с ЕХА водопровідної води, викликані використанням діафрагми з добре проникного матеріалу, внаслідок чого кислий розчин, який попадає з анодної камери у катодну, викликає розчинення  $\text{CaCO}_3$  у католіті.

Усі описані параметри, крім залежності сили струму від часу ЕХА, активно використовують для аналізу стану активованого розчину. Зміна цих параметрів є наслідком дії електричного поля на воду, вони не є універсальними, а результат їх використання для контролю ЕХА залежить від характеристик вихідного розчину.

Першопричиною зміни характеристик водного розчину під час ЕХА є дія електричного поля, тому контроль сили струму, що протікає крізь стаціонарний діафрагмовий електролізер за постійної напруги на електродах під час ЕХА, можна використовувати як метод контролю глибини активації, оскільки характер кривої (рис. 2.а) відображає фізико-хімічні перетворення у активованих розчинах. Цей метод дозволяє точно встановити момент завершення процесу активації, необхідний для досягнення тих чи інших властивостей промислових розчинів з мінімальною витратою як речовин, так і енергії.

Оскільки і у наукових дослідженнях, і для промислового застосування часто використовують водні розчини з контрольованих хімічним складом, було проведено дослідження зміни сили струму, рН, електропровідності та температури у камерах електролізера у залежності від часу активації водних розчинів солей  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  та  $\text{NaHCO}_3$ , які відрізняються механізмами гідролізу. З метою зменшення впливу газотворення на електродах на процес протікання електричного струму в електролізері використано розчини з концентраціями 0,001 М та 0,0001 М.

Водопровідна, як і природна вода, є багатоконпонентною динамічною системою, до складу якої входять гази, мінеральні та органічні речовини. Зміну сили струму, температури у камерах електролізера, рН і електропровідності аноліту та католіту під час ЕХА водопровідної води показано на рис. 2.

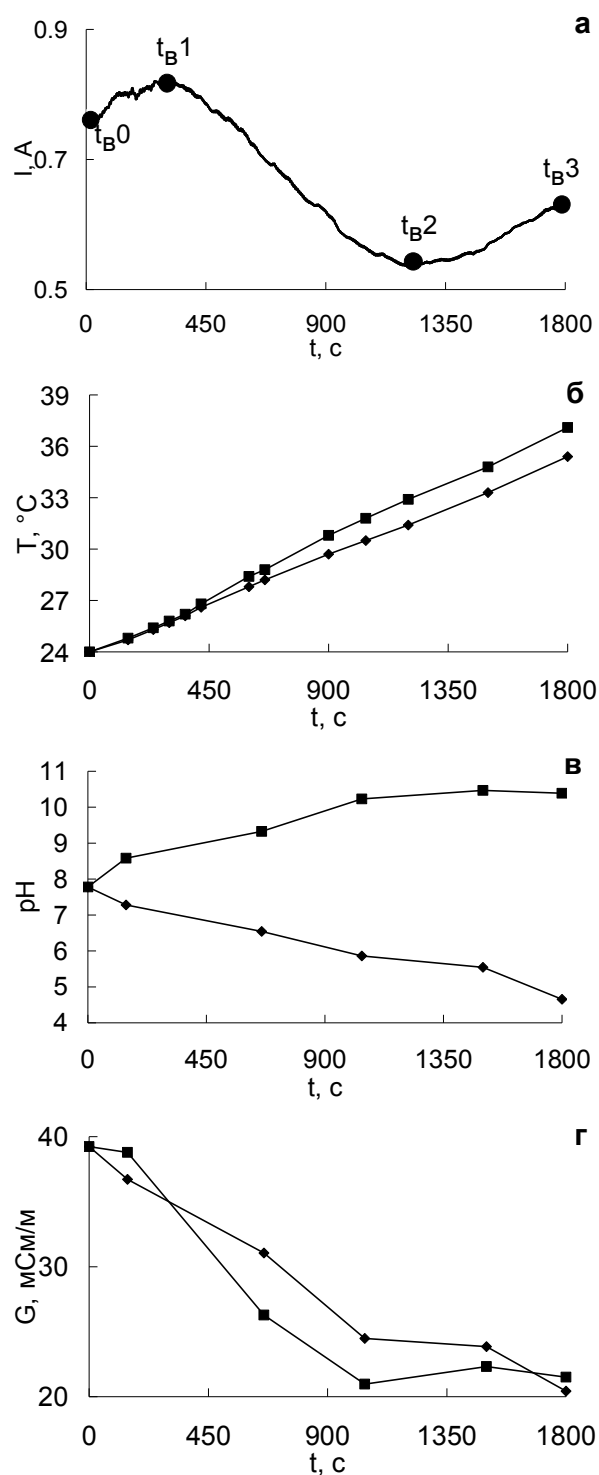
У аноліті спостерігається зменшення рН внаслідок реакції:  $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- \Rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$ . Зі зменшенням рН іони  $\text{HCO}_3^-$ , які завжди присутні у водопровідній воді, поступово переходять у вільну вугільну кислоту, а коли рН = 4 вони повністю зникають. Отже, зменшення кількості іонів та структурні перетворення призводять до зменшення провідності аноліту (рис. 2.г).



Типові залежності зміни сили струму на прикладі 0,0001 М розчину КСІ наведено на рис. 3. Залежність сили струму як для використаної у експерименті концентрації, так і для концентрації до 0,1–0,2 М, що становить верхню межу концентрацій, для яких проявляються ефекти ЕХА, є однаковою і відрізняється лише часом виходу на насичення – з ростом концентрації він зменшується.

Для вивчення властивостей ЕХА водних розчинів та можливості утворення екологічно небезпечних сполук як під час їх одержання, так і зберігання, процес активації розділено на декілька етапів. На графіку зміни сили струму під час активації водопровідної води (рис. 2.а) виділено наступні ключові точки:  $t_{B1}$  відповідає моменту часу, коли сила струму у електролізері досягає максимального значення,  $t_{B2}$  – моменту часу, коли сила струму у електролізері досягає мінімального значення, а  $t_{B3}$  – моменту часу, коли сила струму у електролізері виходить на насичення. А на графіку зміни сили струму під час активації водних розчинів з контрольованим хімічним складом (рис. 3) виділено такі ключові точки:  $t_{KC1}$  відповідає моменту часу, коли сила струму у електролізері досягає максимального значення,  $t_{KC2}$  – моменту часу, що відповідає точці перегину на кривій сили струму, а  $t_{KC3}$  – моменту часу, коли сила струму у електролізері виходить на насичення. Далі у тексті для характеристики тривалості процесу ЕХА використано ці позначення, а  $t_{B0}$  або  $t_{KC0}$  відповідають вихідному стану водопровідної води або водного розчину з контрольованим хімічним складом.

З метою детального вивчення процесів, що відбуваються на початковому етапі активації досліджено розчини  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  та  $\text{NaHCO}_3$  за низької напруженості прикладеного електричного поля. Виявлено, що під час ЕХА розчинів  $\text{NaHCO}_3$  спостерігається явно виражений пік сили струму на початковому етапі ЕХА, аналогічний піку сили струму у водопровідній воді та розчині КСІ. У разі активації розчину  $\text{NaCl}$  такий пік відсутній зовсім. Цей ефект можна пояснити утворенням слабозначинної вільної вугільної кислоти, утвореної у процесі зміни вуглекислотної рівноваги у розчині  $\text{NaHCO}_3$  зі зменшенням рН у ано-



Параметри католіту (■), аноліту (◆)

Рисунок 2 – Зміна фізико-хімічних параметрів водопровідної води під час ЕХА: сили струму (а), температури (б), рН (в), питомої електропровідності (г)

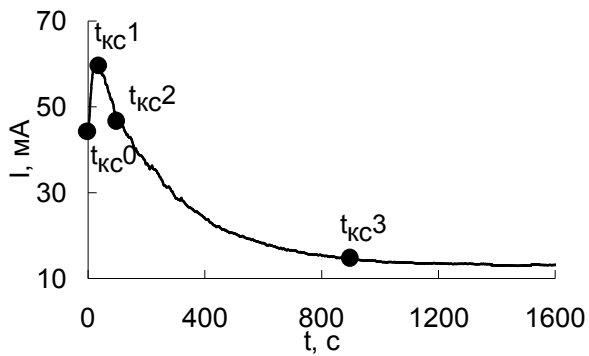


Рисунок 3 – Зміна сили струму під час ЕХА 0,0001 М розчину КСІ

незначної різниці рухливостей іонів  $Na^+$  і  $Cl^-$ . Водночас, під час ЕХА розчину  $NaHCO_3$  питома електропровідність аноліту зменшується. Цей ефект пояснюється зміщенням вуглекислотної рівноваги зі зменшенням рН у бік утворення вільної вугільної кислоти, що зменшує кількість іонів, які беруть участь у перенесенні електричного заряду. Аналіз хімічних перетворень у цих розчинах показав, що під час ЕХА не утворюються стабільні шкідливі сполуки, а лише такі, які мають найменшу дію на людину та природні системи.

Для ідентифікації метастабільних продуктів електролізу використано люмінесцентний аналіз, який не потребує для свого проведення застосування хімічних реагентів, не дає відходів, тобто має мінімальний шкідливий вплив на природне середовище. Окрім цього, люмінесценція є чутливим методом визначення різного типу домішок у воді, її часто використовують під час екологічного моніторингу гідросфери.

Дослідження люмінесценції проводились для довжин хвиль збуджуючого світла у 260 нм і 320 нм. Спектри люмінесценції під час збудження довжиною хвилі 260 нм вихідної дистильованої води, аноліту та католіту, відібраних після різного часу впливу електричного поля, наведено на рис. 4.а та рис. 4.б. Як видно з них, усі спектри є широкими складними смугами випромінювання із максимумами в околі 320 нм, 360 нм та 420 нм. Максимум у околі  $\approx 290$  нм відповідає раманівському розсіянню світла. Характер поведінки спектрів є схожим і для аноліту, і для католіту, що свідчить про подібність механізмів люмінесценції для обох типів отриманих активованих розчинів. Відзначено і непропорційність зростання інтенсивності люмінесценції відносно зміни часу впливу електричного поля на воду.

Аналогічні висновки випливають з аналізу спектрів люмінесценції вихідної дистильованої води, аноліту та католіту при збудженні довжиною хвилі 320 нм (рис. 5). Максимум при  $\approx 360$  нм – раманівське розсіяння. Спектри люмінесценції – широкі смуги, де приблизно можна виділити максимум у 420 нм.

Зображені на рис. 4 та рис. 5 спектри люмінесценції можуть пояснюватись наявністю електронно-збудженого гідроксилу  $OH^*$  який згідно з реакцією  $H^+ + OH^* \rightarrow H_2O + OH^- + h\nu$  дає спостережуване випромінювання з максимумами 310, 318 та 340 нм, а також випромінювальною дезактивацією коливально-збудженої  $H_2O$ , що супроводжується широкою смугою випромінювання у області 380–600 нм.

Інші смуги випромінювання зумовлені як наявністю додаткових газів (водню та кисню), так і пероксиду водню та активних радикалів, які утворюються під час протікання електричного струму. Вони зумовлюють зростання інтенсивності люмі-

дній камері електролізера. Це припущення підтверджується і безпосереднім вимірюванням питомої електропровідності розчинів, відібраних з камер електролізера, під час ЕХА.

Питома електропровідність і католіту, і аноліту, отриманих у результаті ЕХА розчину  $NaCl$ , збільшуються з часом, причому електропровідність аноліту є вищою, ніж електропровідність католіту. Це зумовлено, в першу чергу, майже вдвічі більшою рухливістю іонів  $H^+$  у порівнянні з іонами  $OH^-$  на фоні

незначної різниці рухливостей іонів  $Na^+$  і  $Cl^-$ . Водночас, під час ЕХА розчину  $NaHCO_3$  питома електропровідність аноліту зменшується. Цей ефект пояснюється зміщенням вуглекислотної рівноваги зі зменшенням рН у бік утворення вільної вугільної кислоти, що зменшує кількість іонів, які беруть участь у перенесенні електричного заряду. Аналіз хімічних перетворень у цих розчинах показав, що під час ЕХА не утворюються стабільні шкідливі сполуки, а лише такі, які мають найменшу дію на людину та природні системи.

Для ідентифікації метастабільних продуктів електролізу використано люмінесцентний аналіз, який не потребує для свого проведення застосування хімічних реагентів, не дає відходів, тобто має мінімальний шкідливий вплив на природне середовище. Окрім цього, люмінесценція є чутливим методом визначення різного типу домішок у воді, її часто використовують під час екологічного моніторингу гідросфери.

Дослідження люмінесценції проводились для довжин хвиль збуджуючого світла у 260 нм і 320 нм. Спектри люмінесценції під час збудження довжиною хвилі 260 нм вихідної дистильованої води, аноліту та католіту, відібраних після різного часу впливу електричного поля, наведено на рис. 4.а та рис. 4.б. Як видно з них, усі спектри є широкими складними смугами випромінювання із максимумами в околі 320 нм, 360 нм та 420 нм. Максимум у околі  $\approx 290$  нм відповідає раманівському розсіянню світла. Характер поведінки спектрів є схожим і для аноліту, і для католіту, що свідчить про подібність механізмів люмінесценції для обох типів отриманих активованих розчинів. Відзначено і непропорційність зростання інтенсивності люмінесценції відносно зміни часу впливу електричного поля на воду.

Аналогічні висновки випливають з аналізу спектрів люмінесценції вихідної дистильованої води, аноліту та католіту при збудженні довжиною хвилі 320 нм (рис. 5). Максимум при  $\approx 360$  нм – раманівське розсіяння. Спектри люмінесценції – широкі смуги, де приблизно можна виділити максимум у 420 нм.

Зображені на рис. 4 та рис. 5 спектри люмінесценції можуть пояснюватись наявністю електронно-збудженого гідроксилу  $OH^*$  який згідно з реакцією  $H^+ + OH^* \rightarrow H_2O + OH^- + h\nu$  дає спостережуване випромінювання з максимумами 310, 318 та 340 нм, а також випромінювальною дезактивацією коливально-збудженої  $H_2O$ , що супроводжується широкою смугою випромінювання у області 380–600 нм.

Інші смуги випромінювання зумовлені як наявністю додаткових газів (водню та кисню), так і пероксиду водню та активних радикалів, які утворюються під час протікання електричного струму. Вони зумовлюють зростання інтенсивності люмі-

несценції. Заряджені мікробульбашки розчиненого кисню формують електрокінетичний потенціал біля площини ковзання утвореного на межі розділу кисень-вода подвійного електричного шару, який регулює концентрацію іонів  $H^+$  або  $OH^-$  у приграничному шарі бульбашки. Збільшення концентрації цих іонів біля поверхні розділу фаз призводить до зміни структури води, що відображається у зміні електропровідності розчину. Отже, наявні бульбашки сприяють утворенню активних форм кисню, що можуть вступати у реакції з утворенням синглетного кисню  $O_2(a^1\Delta_g)$ . Водночас, під дією світла у воді також може утворюватися синглетний кисень. Продукти реакції іонів та радикалів, які є у воді, при взаємодії з синглетним киснем можуть переходити у збуджений стан та давати випромінювання у УФ-області з  $\lambda < 400$  нм. А під час одночасної дезактивації димера, утвореного з двох збуджених молекул  $O_2(a^1\Delta_g)$ , спостерігається випромінювання у смугах 361, 381, 478 нм.

Отже, причиною зростання інтенсивності люмінесценції можна вважати вплив газової фази, утвореної під час ЕХА, та розчинених газів, у першу чергу кисню. Оскільки він утворюється, в основному, на аноді, то і зростання люмінесценції аноліту є більшим за зростання люмінесценції католіту.

Крім вже описаних процесів, на випромінювання може впливати і самоорганізація структур, які утворюються у системі молекул води, пов'язаних водневими зв'язками, і розчинених молекул та іонів – кластери під впливом електричного поля зазнають змін та впорядковуються.

Отже, люмінесцентні дослідження показали відсутність шкідливих метастабільних сполук у досліджених ЕХА водних розчинах, а люмінесценція ЕХА розчинів у значній мірі визначається синглетним киснем – важливою сполукою у окислювальних природних процесах. Цей висновок, згідно класифікації технологій Р. Ф. Реймерса, дозволяє трактувати ЕХА як екологічну технологію, яка викорис-

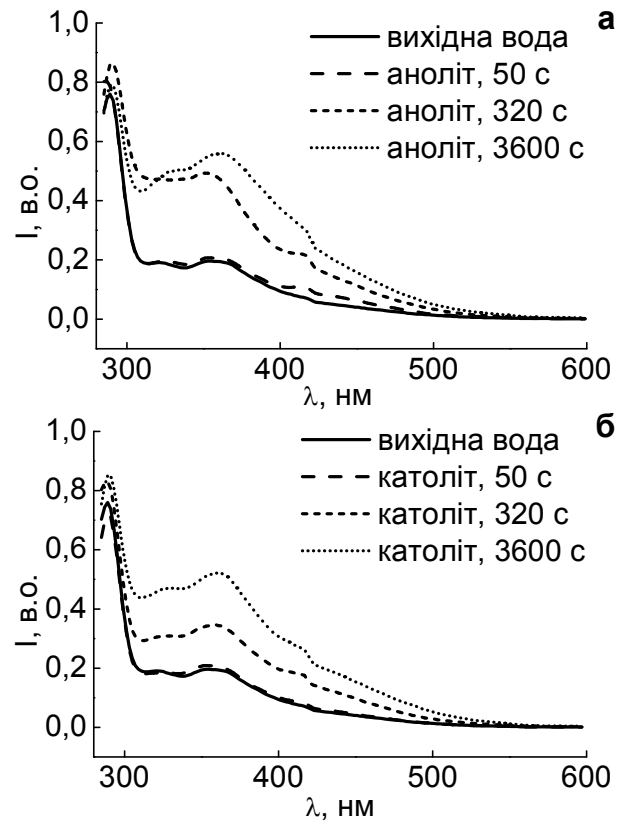


Рисунок 4 – Спектри люмінесценції аноліту (а), католіту (б) при збудженні світлом з довжиною хвилі 260 нм

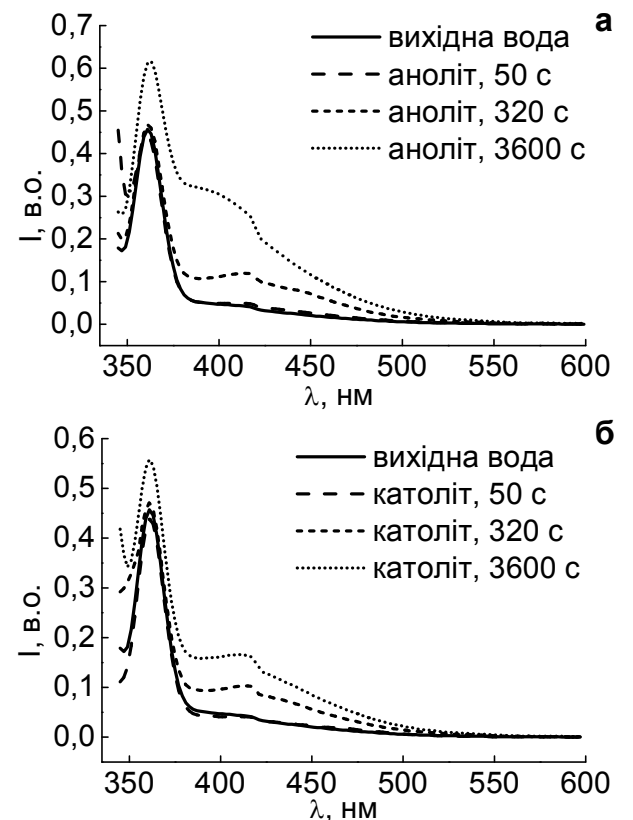


Рисунок 5 – Спектри люмінесценції аноліту (а), католіту (б) при збудженні світлом з довжиною хвилі 320 нм

товує сполуки та процеси, характерні для природи.

Для природних процесів характерні окисно-відновні реакції, які перебігають також під час ЕХА, внаслідок чого утворюються й інші речовини, що виконують роль відновників та окисників. Однак, здебільшого тривалість життя продуктів електролізу достатньо мала. Отже, невід'ємною умовою практичного впровадження активованих розчинів є ґрунтовне дослідження релаксаційних процесів, що відбуваються у них.

Досліджено зміни рН, ОВП, електропровідності під час зберігання активованих розчинів отриманих з водопровідної води, у різних умовах. Зміну рН у процесі релаксації показано на рис. 6. Одержані залежності можна пояснити, проаналізувавши механізми та процеси, які відбуваються під час ЕХА води. У процесі активації водопровідної води співвідношення між окисно-відновними парами постійно змінюється. На рис. 7 наведено зміну концентрацій іонів  $H^+$  та  $OH^-$ , розраховану зі значення рН аноліту та католіту, відібраних на різних етапах активації. Як видно з рис. 7,

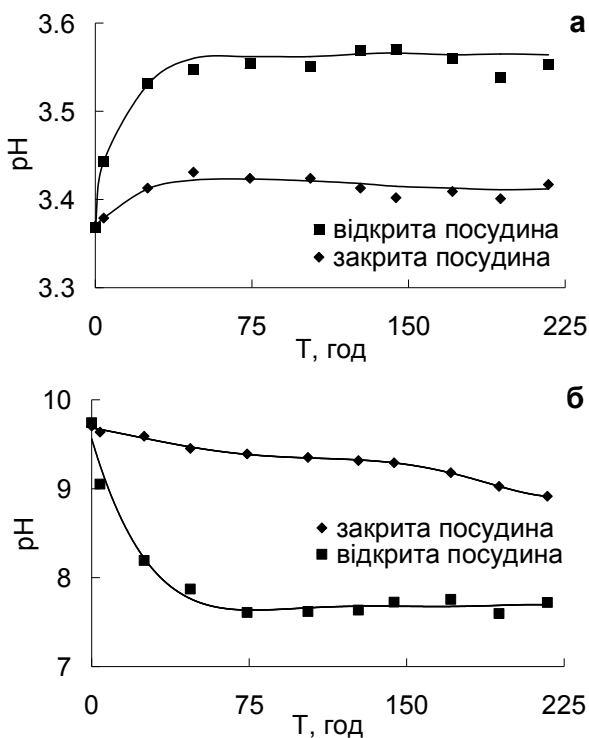


Рисунок 6 – Релаксація рН аноліту (а) та католіту (б) за кімнатної температури

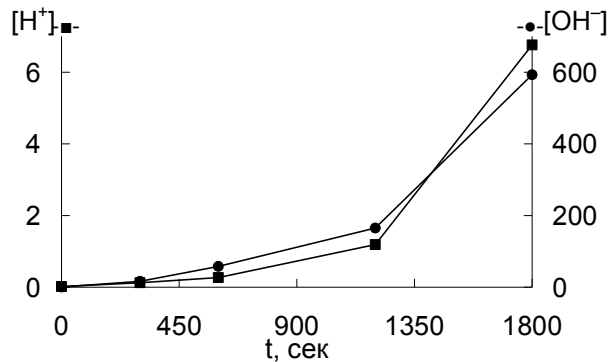


Рисунок 7 – Зміна концентрації (мкмоль/л) іонів  $H^+$  та  $OH^-$  під час ЕХА водопровідної води

концентрація іонів  $OH^-$  перевищує майже на два порядки концентрацію іонів  $H^+$ . Крім того, відбуваються процеси виділення кисню на аноді та виділення водню на катоді. Оскільки водень дифундує швидше, а його розчинність при  $20^\circ C$  є майже у два рази меншою, ніж кисню за цієї ж температури, то релаксаційні процеси йдуть швидше у католіті, ніж у аноліті. Це підтверджено використанням різного типу посудин для зберігання продуктів електролізу. Встановлено, що у закритих посудинах процеси релаксації проходять набагато повільніше, ніж у відкритих (рис. 6). ЕХА є причиною утворення, крім метастабільних, ще і стабільних продуктів електролізу, кількість яких зростає зі збільшенням глибини активації. Властивості цих речовин з часом змінюються несуттєво, що може бути причиною незначних релаксаційних змін, які спостерігаються на кривих релаксації рН при великих часах електролізу, причому як у аноліті, так і у католіті (рис. 8). Це підтверджує важливість контролю процесу активації, оскільки надлишкова активація, крім додаткової втрати енергії, сповільнює релаксаційні процеси, а відтак збільшує екологічне навантаження при скиданні невикористаних активованих розчинів у навколишнє середовище.

Встановлено, що релаксація електропровідності аноліту практично не відбувається, оскільки, як вже відзначалося вище, гли-

бина його активації є суттєво меншою, ніж у католіті. У католіті релаксація електропровідності відбувається для всіх зразків у використаному діапазоні глибин активації. Отже, незначна релаксація рН (криві 1, 2 на рис. 8) супроводжується значною релаксацією електропровідності. Це говорить, що у процесі ЕХА утворюються метастабільні водно-сольові кластери, які найбільш активно руйнуються впродовж перших 50 год після активації.

Підтвердженням цього є спектрофотометричні дослідження ЕХА водних розчинів КСІ з концентраціями 1 М, 0.1 М та 0.01 М. І для католіту, і для аноліту спектри оптичного пропускання є подібними: в процесі релаксації змінюється величина пропускання та форма спектру в області 330–350 нм. Основні зміни також відбуваються в перші 50 годин після активації, що повністю узгоджується з вище розглянутими процесами релаксації електропровідності. Надалі оптичні спектри практично не змінюються. Слід відзначити, що коефіцієнт пропускання як аноліту, так і католіту, вимірний одразу після одержання, залежить від концентрації розчину. Причому, зі збереженням загальної форми кривих в області 190–330 нм, з ростом концентрації числове значення коефіцієнта пропускання наближається до його значень для речовини у релаксованому стані. Для цього стану криві пропускання практично не залежать від концентрації розчиненої солі як для католіту, так і для аноліту. Тобто підвищена активність спостерігається лише для ЕХА розчинів низької мінералізації, що робить ЕХА технології ресурсощадними у порівнянні з технологіями класичного електролізу.

Проведені дослідження дозволили оцінити та систематизувати вплив глибини ЕХА на властивості активованих розчинів. Встановлено, що у момент часу  $t_{в1}$  ( $t_{к1}$ ) у розчинах знаходиться максимальна кількість нерівноважних зарядів, починається формування структури, утворення стабільних і метастабільних продуктів електролізу. У момент часу  $t_{в2}$  завершується перенесення розчинених іонів по камерах електролізера і формування дрібнодисперсної фази солей твердості, а також спостерігається максимальне відхилення рН та ОВП від початкового значення. У момент часу  $t_{в3}$  ( $t_{к3}$ ) кількість стабільних продуктів електролізу у розчинах починає переважати над кількістю метастабільних продуктів і починається перемішування розчинів з різних камер електролізера за рахунок проникності діафрагми.

Таким чином, на основі одержаних залежностей сформовано теоретичні засади створення екологічно безпечних технологій одержання промислових водних розчинів з використанням ЕХА. Запропонований підхід підвищує ефективність використання ЕХА промислових водних розчинів з мінімальними затратами енергії, робить їх конкурентоспроможними як за технологічними, так і за економічними показниками і дозволяє зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище за рахунок відмови від традиційних промислових розчинів хімічного походження.

У четвертому розділі дисертаційної роботи на основі висновків та узагальнень, отриманих у попередніх розділах, розглянуто особливості практичного використан-

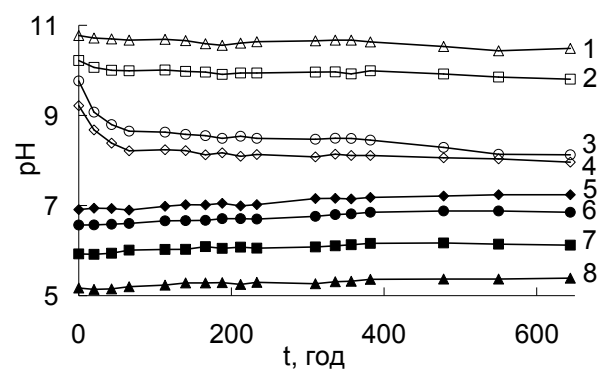


Рисунок 8 – Релаксація значень рН розчинів з різною глибиною активації: католіт відібраний у момент часу  $t_{в1}$  (4),  $t_{в1}-t_{в2}$  (3),  $t_{в2}$  (2),  $t_{в3}$ (1); аноліт відібраний у момент часу  $t_{в1}$  (5),  $t_{в1}-t_{в2}$  (6),  $t_{в2}$  (7),  $t_{в3}$  (8)

ня ЕХА водних розчинів у різноманітних технологічних схемах у контексті збільшення їх екологічної безпеки. Оскільки встановлено, що ЕХА водні розчини характеризуються підвищеною хімічною активністю та структурною впорядкованістю, обрано такі технології, у яких ефективно може бути використана принаймні одна з цих особливостей. Запропоновану методику контролю глибини ЕХА використано для одержання максимально ефективних активованих розчинів з метою заміни традиційних екологічно небезпечних реагентів у розглянутих технологічних процесах.

Досліджено екологічно безпечну технологію модифікування поверхні АВ для зміни складу поверхневих груп для виготовлення електродів суперконденсаторів зі збільшеною питомою ємністю.

Традиційні способи постмодифікації поверхні АВ для виробництва електродів суперконденсаторів передбачають окислення матеріалу у рідкій фазі хімічно активних речовин (сірчаної, азотної кислоти, пероксисульфату амонію тощо), окислення у газовій фазі за підвищених температур (озонування, суміш кисню та водяної пари), теплову обробку в інертному середовищі тощо. Вище згадані способи дозволяють підвищити питому ємність електродів суперконденсаторів, однак вони є енерго- та ресурсоемними та вимагають складної та затратної очистки відходів.

Для дослідження використано АВ марок БАУ, Norit Supra та Аусфер з розміром частинок 45–63 мкм. Для активації використали водні розчини КСІ з різними концентраціями. Відбір зразків активованих розчинів здійснювали для кожної концентрації солі у момент часу  $t_{кc1}$ ,  $t_{кc2}$  та  $t_{кc3}$  (рис. 3.а). У кожен відібраний розчин поміщали наважку АВ та витримували впродовж 6–96 годин. Дослідження проводили у водному електроліті – 30 % розчині гідроксиду калію, оскільки органічні електроліти та технології їх отримання завдають значної шкоди довкіллю.

Для встановлення питомих характеристик виготовлених суперконденсаторів виміряли гальваностатичні заряд-розрядні цикли. Залежність питомої ємності експериментальних суперконденсаторів від концентрації ЕХА водного розчину КСІ з постійним часом активації та експозиції наведено у табл. 1, а вплив часу експозиції представлено у табл. 2.

Таблиця 1 – Залежність питомої ємності АВ від концентрації ЕХА розчину КСІ

Тип АВ	Питома ємність, Ф/г
Немодифіковане АВ	38,1
АВ після експозиції у дистильованій воді	41,5
АВ після експозиції у 0,00007 М водному розчині КСІ	42,7
АВ після експозиції у ЕХА водному розчині КСІ з концентрацією 0,00007 М	46,0
АВ після експозиції у 0,001 М водному розчині КСІ	42,7
АВ після експозиції у ЕХА водному розчині КСІ з концентрацією 0,001 М	47,9
АВ після експозиції у 0,003 М водному розчині КСІ	42,4
АВ після експозиції у ЕХА водному розчині КСІ з концентрацією 0,003 М	46,4

Примітка: ЕХА проводилась до настання моменту часу  $t_{кc3}$  та  $t_{кc2}$  у випадках 4 та 6 відповідно, а час експозиції – 12 годин у всіх випадках.

Таблиця 2 – Залежність питомої ємності АВ від часу експозиції у ЕХА аноліті

Тип АВ	Питома ємність, Ф/г
Немодифіковане АВ	38,1
АВ після 6 годин експозиції	43,7
АВ після 12 годин експозиції	47,9
АВ після 24 годин експозиції	42,6

Примітка: концентрація водного розчину КСІ становила 0,001 М у всіх випадках; ЕХА тривала до настання моменту часу  $t_{к2}$ .

Можливою причиною зміни питомої ємності є зміна гідрофобно-гідрофільних властивостей поверхні, які визначаються складом кисневмісних поверхневих груп. Для дослідження гідрофільності проводили експозицію АВ у ЕХА розчинах, отриманих у режимах ЕХА, що забезпечують максимальну ємність електродів (тривалість активації –  $t_{к2}$ , час експозиції – 12 год). Водночас аналогічну експозицію проводили у дистильованій воді та вихідному розчині КСІ. Об'єм гідрофобних і гідрофільних пор визначали шляхом зважування таблеток, одержаних з попередньо модифікованого АВ, на повітрі, після витримання у воді та витримання у гептані. Гептан характеризується малим кутом змочування АВ, тому він заповнює весь простір пор, а вода – лише гідрофільні пори. Знаючи густину води і гептану розраховували поглинутий таблеткою об'єм рідини, а, врахувавши пористість таблеток – і частку гідрофільних та гідрофобних пор. Отримані результати зведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Гідрофільні та гідрофобні властивості поверхні вихідного та модифікованого АВ

Вид вугільного порошку	Заповнення вільного простору гептаном, %	Заповнення вільного простору водою, %	Гідрофільна поверхня, %	Гідрофобна поверхня, %
Вихідне вугілля (БАУ)	69	31	46	54
Оброблене розчином КСІ	75	31	41	59
Оброблене ЕХА розчином КСІ	73	67	92	8
Вихідне вугілля (NS)	80	31	39	61
Оброблене розчином КСІ	79	37	47	53
Оброблене ЕХА розчином КСІ	78	47	61	39
Вихідне вугілля (Аусфер)	82	10	12	88
Оброблене розчином КСІ	77	11	15	85
Оброблене ЕХА розчином КСІ	83	13	16	84

Примітка: використано аноліт ЕХА розчину, що піддавався електрохімічній обробці до настання моменту часу  $t_{к2}$ .

Отримані результати свідчать, що після модифікації активованим розчином зростає гідрофільність АВ. Така зміна проявляється у виникненні додаткових чи перерозподілі вже існуючих поверхневих груп без використання кислотних модифікаторів, які використовуються у традиційних технологіях, та становлять значну загрозу гідросфері через великі об'єми відходів.

Також досліджено вплив ЕХА води замішування на фізико-механічні властивості гіпсового каменю. За хімічним складом гіпс нетоксичний, виробляється з природної сировини, а перетворення дводіграту сульфату кальцію дозволяє отримати виріб з хімічною формулою, закладеною у природному мінералі. Завдяки цим властивостям гіпсове в'язуче є екологічно чистою речовиною, що дозволяє отримати кінцеві вироби на його основі не змінюючи кругообіг речовин у природі. Тому в умовах боротьби за відновлення екологічної рівноваги природних та антропогенних систем значно зросли обсяги виробництва гіпсових в'язучих та виробів на їх основі.

Однак для підвищення економічних показників виробництва гіпсових в'язучих матеріалів використовують різноманітні модифікатори та пластифікатори, що сприяють підвищенню міцності кінцевого продукту, пришвидшення термінів досягнення розпалубочної міцності, зменшення норм витрат сировини, тощо. Для цих цілей використовують такі екологічно небезпечні речовини, як суміш натрієвих солей продуктів поліконденсації з формальдегідом сульфонованих ароматичних вуглеводів, отриманих під час каталітичного крекінгу та піролізу нафтопродуктів і навіть найпростіший з існуючих модифікаторів – лимонна кислота, залишає 1,4 т відходів цитрогіпсу на 1 т одержаної кислоти.

Для дослідження використали будівельний гіпс Г-5 Н ІІ (виробництва ПАТ «Івано-Франківськцемент» та ВАТ «Мамалигівський гіпсовий завод»). Оскільки під час ЕХА відбувається ряд конкуруючих процесів, що обумовлюють зміну різних властивостей гіпсового каменю, доцільно було дослідити вплив води замішування, отриманої на різних етапах ЕХА. Як воду замішування використали вихідну водопровідну воду ( $t_{в0}$ ) та ЕХА розчини, відібрані у  $t_{в1}$ ,  $t_{в2}$ ,  $t_{в3}$  та посередині часового проміжку між  $t_{в1}$  та  $t_{в2}$  (рис. 2.а). Фізико-механічні властивості гіпсового каменю визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7–82:2010.

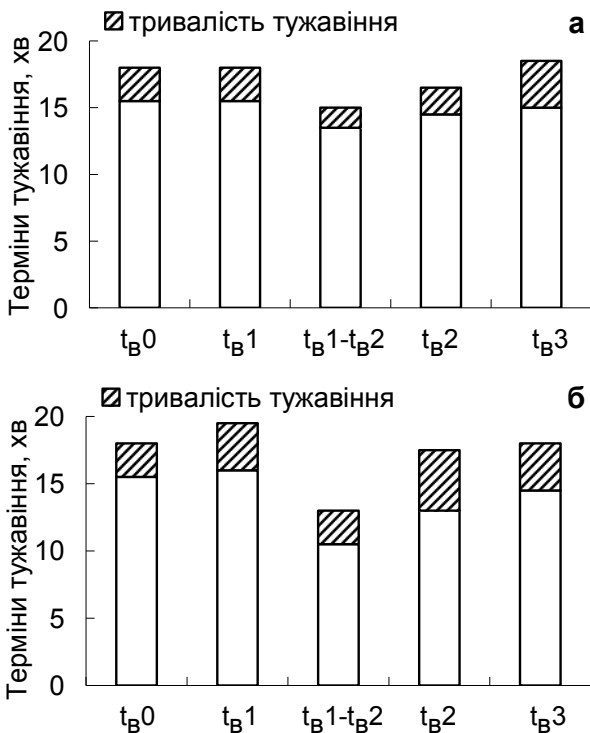


Рисунок 9 – Терміни тужавіння гіпсового в'язучого, замішаного на аноліті (а) та католіті (б) ЕХА водопровідної води

Встановлено, що і аноліт, і католіт змінюють час тужавіння будівельного гіпсу (рис. 9). Причому тужавіння починається і закінчується найшвидше і для аноліту, і для католіту, відібраних посередині часового проміжку між  $t_{в1}$  та  $t_{в2}$ , а найбільший проміжок часу між початком та кінцем тужавіння (4,5 хв) зафіксували при дослідженні зразка, замішаного на католіті, відібраному у  $t_{в2}$ .

Усереднені результати випробувань гіпсових зразків-балочок при згині наведено на рис. 10а, а при стиску – на рис. 10.б. Найкращий результат отримали у результаті замішування будівельного гіпсу католітом, відібраним у  $t_{в2}$  – міцність при згині зростає на 31 %, а при стиску – на 29 %.

В основі процесів, що зумовлюють тверднення гіпсових в'язучих, лежить їх здатність у результаті взаємодії з водою утворювати перенасичені розчини. Для будівельного гіпсу, який містить, в основному,



$\beta$ -модифікацію напівводного гіпсу ( $\beta$ - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), це означає, що його розчинність у воді є більшою, ніж розчинність продукту реакції гідратації – двоводного гіпсу. Такі перенасичені по відношенню до двоводного гіпсу розчини нестійкі і переходять у більш стійкий стан шляхом кристалізації дигідрату  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Отже, на процес кристалізації гіпсу впливатимуть як хімічний склад води, так і наявність включень нано- та субмікронних розмірів, які виступають центрами кристалізації. Такими центрами можуть бути частинки  $\text{CaCO}_3$ , які утворюються у католіті із солей твердості під час ЕХА водопровідної води. Причому в  $t_{\text{в}2}$  їхня кількість є максимальною, оскільки встановлено, що при подальшій активації внаслідок доброї проникності діафрагми аноліт попадає з анодної камери у катодну і викликає розчинення  $\text{CaCO}_3$ .

Для перевірки впливу дисперсної фази  $\text{CaCO}_3$  у воді замішування на механічні властивості гіпсового каменю відібрали католіт при активації до  $t_{\text{в}2}$ . Частину розчину відфільтрували через фільтр «синя стрічка» з розміром пор 2–4 мкм. Зміну механічних властивостей гіпсового каменю показано на рис. 11. З нього видно значний вплив дисперсної фази  $\text{CaCO}_3$  на фізико-механічні властивості гіпсового каменю. В утворенні  $\text{CaCO}_3$  важливу роль відіграє гідроксид кальцію, який є регулятором термінів тужавіння. Отже, синергія впливів карбонату та гідроксиду кальцію спричиняють зміну тривалості тужавіння та механічних властивостей гіпсового каменю, що дозволяє відмовитись від використання одразу двох видів хімічних модифікаторів – регуляторів термінів тужавіння та зміцнювачів. Таким чином, контроль глибини активації визначає властивості кінцевого продукту та забезпечує оптимальне співвідношення продуктів ЕХА ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ).

Проаналізовано вплив ЕХА водних розчинів на біологічні молекули, зокрема білки, та показано ефективність та безпечність їх використання для дезінфекції у дифузійному відділенні цукрового виробництва.

Взаємодію ЕХА дистильованої води та білкових молекул досліджено методом клиновидної дегідратації на модельних розчинах, які за складом відповідають сироватці крові людини. Зображення фації модельного розчину на основі дистильованої води показано на рис. 12.а, а на основі ЕХА води – на рис. 12.б – 12.г. Для фації з

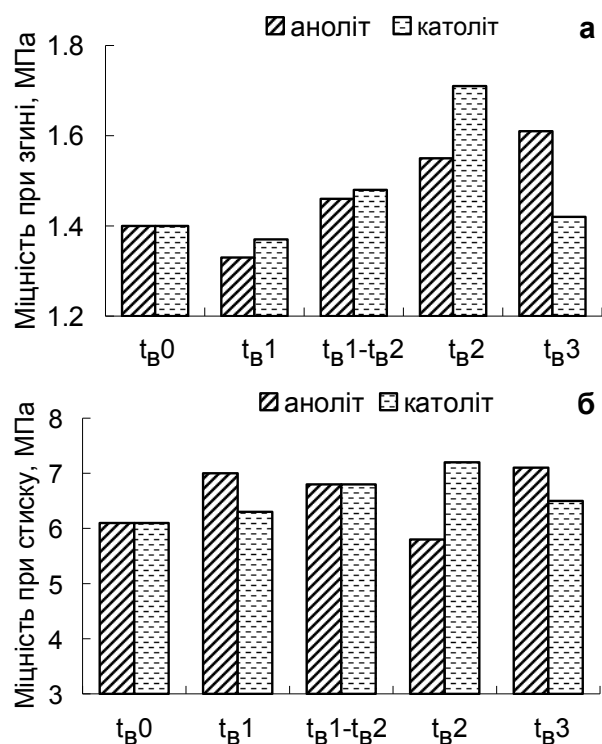


Рисунок 10 – Міцність при згині (а) та при стиску (б) зразків гіпсового каменю, замішаного на ЕХА водопровідній воді



Рисунок 11 – Міцність гіпсового каменю, замішаного на ЕХА водопровідній воді

дистильованою водою отримано типову картину – по краю розміщений білковий валик, а всередині білково-сольова зона. Фації на основі ЕХА дистильованої води значно відрізняються білково-сольовою областю. З рис. 12.б – 12.г видно, що поряд із дендритами утворюються кристали солі правильної форми. Тобто заміна дистильованої води на ЕХА воду призводить до якісно нового утворення у фації.

Структурні зміни білкової молекули можуть бути викликані зміною рН активованого розчину. З наближенням рН розчину до ізоелектричної точки, яка для альбуміну становить 4,7, деякі характеристики білка досягають екстремальних значень. У фаціях, отриманих на основі ЕХА розчинів, де рН змінюється від 5,39 для аноліту до 9,31 для католіту, спостерігаються однотипні кристалічні включення, тобто, залежні від рН конформаційні зміни білкових молекул не впливають на їх утворення.

Аналіз причин утворення правильних кристалів, які виникають при висиханні білково-сольових розчинів на основі ЕХА води, дозволяє зробити висновок, що основною причиною цього є модифікація просторової структури асоціатів молекул води – кластерів, що у поєднанні з підвищеною реакційною здатністю ЕХА розчинів забезпечує можливість використання активованих розчинів для екологічно безпечного впливу на процеси життєдіяльності біологічних об'єктів.

Підґрунтя використання ЕХА розчинів для дезінфекції полягає у тому, що для нормальної життєдіяльності різноманітних мікроорганізмів важливе значення відіграє рН та ОВП середовища, у якому вони перебувають. У нейтральному середовищі існування мікробів можливе у достатньо широкому діапазоні значень ОВП, однак у результаті відносно незначного зсуву рН у лужну або кислотну сторону цей діапазон істотно зменшується. Для кожного мікроорганізму існує певний оптимум значень рН та ОВП і свої критичні значення. Причиною цього є те, що у всіх біологічних процесах, пов'язаних з життєдіяльністю клітини, важливе значення відіграють каталізатори (ферменти). Фізіологічні процеси клітини суттєво залежать від активності ферментів, тому будь-який фактор, що впливає на ферменти матиме безпосередній вплив і на клітину загалом. Ферменти складаються з білкових комплексів з властивостями гідрофільних колоїдів та високою поверхневою енергією, що обумовлює їх чутливість до таких факторів навколишнього середовища, як температура, осмотичний тиск, рН тощо. Механізм знищення мікроорганізму ЕХА розчинами полягає у створенні стійких сполук з активними центрами ферментів, що призводить до «голодування» та загибелі клітин мікроорганізмів. Людина та інші вищі організми продукують та активно використовують для свого функціонування низку високоактивних антиоксидантів, тому їх соматичні клітини володіють потужною системою антиоксидантного захисту, непритаманною для мікроорганізмів, що робить ЕХА дезінфікуючі розчини безпечними для людини та довкілля.

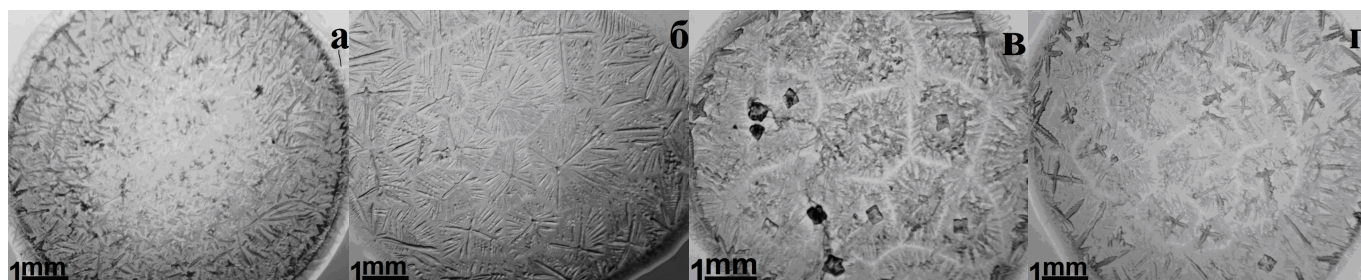


Рисунок 12 – Фації модельного біологічного розчину на основі дистильованої води (а) та аноліту, відібраного на 50-тій (б), 320-тій (в), 1500-тій (г) секундах ЕХА

Перевірено ефективність використання дезінфікуючих засобів на основі аноліту активованого розчину 0,01 М хлориду натрію на прикладі: *Escherichia coli*, *Candida pseudotropicalis*, *Aspergillus niger*, *Geotrichum candidum*. І якщо *Escherichia coli* виступає стандартним індикатором, то боротьба з рештою згаданих мікроорганізмів є реальною технологічною проблемою цукрового виробництва, що зазвичай вирішується з використанням формаліну та інших високо шкідливих хімічних реагентів II–III-ого класів небезпеки. Так, для переробки 1000 т цукрових буряків використовують понад 150 кг формаліну, 150 кг хлорного вапна, 200 кг гіпохлориду натрію та до 30 кг антибіотиків та піногасників. Враховуючи сумарну потужність вітчизняних цукрових заводів – 212900 т цукрового буряка на добу – навіть незначне зменшення використання вищезгаданих дезінфектантів позитивно вплине на довкілля та здоров'я населення.

У виробничих умовах на Чортківському цукровому заводі проведено випробування та підтверджено ефективність використання дезінфектантів на основі активованих розчинів хлориду натрію у дифузному відділі виробничого циклу. Отже, ЕХА водні розчини можуть бути ефективно використані для вирішення цілого ряду актуальних задач, які існують на цукровому виробництві. Такі рішення відзначатимуться високою екологічністю, низькою собівартістю обладнання та самих розчинів, простотою впровадження у існуючі виробничі схеми.

У **додатках** наведено акти впровадження результатів досліджень.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-прикладну задачу – розроблення екологічно безпечних технологій одержання промислових водних розчинів шляхом оптимізації процесів електрохімічної активації у стаціонарних діафрагмових електролізерах для забезпечення раціонального використання водних ресурсів та зменшення обсягів скидання шкідливих речовин у навколишнє середовище.

При цьому отримано такі наукові та практичні результати:

1. Визначено основні переваги ЕХА як екологічно безпечної та ресурсозберігаючої технології одержання багатофункціональних промислових водних розчинів. На підставі літературного огляду та аналізу показано основні недоліки існуючих технологій активації та визначено перспективні напрямки впровадження електрохімічної активації для одержання екологічно безпечних водних розчинів.

2. Показано, що часова залежність сили струму, який протікає крізь стаціонарний діафрагмовий електролізер під час електрохімічної активації водних розчинів з постійною напругою на електродах, має характерну форму, яка визначається різною здатністю до гідролізу та утворення стійких хімічних сполук розчинених у воді аніонів та катіонів. Встановлені закономірності дозволяють використовувати часову залежність сили струму як оперативний метод контролю процесу електрохімічної активації водних розчинів з концентраціями до 0,01 М та областю вихідних температур від 10 °С до 60 °С, що зменшує енергозатратність процесу активації у порівнянні з відомими методами контролю та оптимізує характеристики отриманих промислових водних розчинів.

3. Встановлено, що у спектральному діапазоні 280–700 нм спектри фотолюмінесценції електрохімічно активованої води є широкими неелементарними смугами.

Запропоновано механізми випромінювання, відповідальні за утворення цих смуг – випромінювання електронно-збудженого радикалу гідроксилу  $\text{OH}^*$ , продуктів реакції іонів та радикалів, які є у воді, при їхній взаємодії з синглетним киснем  $\text{O}_2(a^1\Delta_g)$ , випромінювання димера з двох збуджених молекул  $\text{O}_2(a^1\Delta_g)$ , дезактивація коливально збудженої  $\text{H}_2\text{O}$ . Показано відсутність шкідливих для людини метастабільних сполук у досліджених електрохімічно активованих водних розчинах та встановлено причину зростання інтенсивності люмінесценції електрохімічно активованої води за рахунок збільшення вмісту газової фази і синглетного кисню – важливої сполуки у окислювальних природних процесах.

4. Показано, що параметри католіту та аноліту залежать від умов їх одержання та релаксують до квазістабільного стану при зберіганні протягом 50 год. Встановлено, що величина релаксаційних змін залежить від концентрації розчиненої речовини та умов зберігання електрохімічно активованих розчинів. Релаксація практично не спостерігається при концентраціях розчинених солей у вихідному розчині більше 1 М та при активації тривалістю довшою, ніж час досягнення мінімуму струму у електролізері чи виходу його на насичення. Підвищена активність спостерігається лише для низькомінералізованих електрохімічно активованих розчинів, що робить технології електрохімічної активації ресурсоощадними у порівнянні з технологіями класичного електролізу. Встановлено, що для зменшення релаксації і аноліт, і католіт доцільно зберігати у закритих посудинах без газового прошарку.

5. Встановлено, що модифікування поверхні активованого вугілля електрохімічно активованими розчинами хлориду калію забезпечує зростання гідрофільного об'єму вугільного порошку марки БАУ у 2,16 разів, марки Norit Supra – у 1,52 рази, а марки Аусфер – у 1,3 рази, на основі чого розроблено технологію збільшення ємності електрохімічних суперконденсаторів на 15–25 % з використанням екологічно безпечних методів модифікації поверхні вугільних електродів.

6. Визначено оптимальне співвідношення продуктів електрохімічної активації ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ), що забезпечує як регулювання термінів тужавіння гіпсового тіста, так і процесів кристалізації двоводного гіпсу для одержання каменю з підвищеною міцністю, що дозволяє ефективно замінити регулятори термінів тужавіння та інші модифікатори гіпсових в'язучих хімічного походження. Запропоновано технологічну схему використання католіту як води замішування, що забезпечує зростання міцності гіпсового каменю при згині на 31 %, а при стиску – на 29 %.

7. Методом клиновидної дегідратації досліджено механізми взаємодії активованих водних розчинів з білковими молекулами та встановлено, що основною причиною цієї взаємодії є структурні зміни у отриманих водних розчинах внаслідок дії електричного поля.

8. Запропоновано технологію одержання екологічно безпечного дезінфектанту на основі активованих розчинів хлориду натрію. Перевірено його дію на прикладі *Escherichia coli*, *Candida pseudotropicalis*, *Aspergillus niger*, *Geotrichum candidum*. Проведено оцінку ефективності дезінфектанту у лабораторії Чортківського цукрового заводу ТзОВ «Радехівський цукор» та запропоновано шляхи заміни формаліну, який подається у дифузний апарат, даним дезінфектантом.

9. Екологічна ефективність розроблених технологій забезпечує можливість їх використання як основи для створення установок одержання промислових водних розчинів і збільшення екологічної безпеки виробництв, які були розглянуті.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Бордун, І. М. Вплив умов зберігання на процеси релаксації у електрохімічно активованій воді / І. М. Бордун, В. В. Пташник // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2012. — № 1/6 (55). — С. 27—31. *Проведено літературний огляд, контроль фізико-хімічних показників активованих розчинів під час релаксації у залежності від умов зберігання та аналіз одержаних даних.*
2. Бордун, І. М. Роль води у морфології фацій модельних біологічних рідин / І. М. Бордун, В. В. Пташник, М. В. Велигорська // Системи контролю навколишнього середовища. — 2012. — № 17. — С. 192—195. *Обґрунтовано експериментальну методику досліджень, проведено аналіз цифрових мікрофотографій фацій та контроль фізико-хімічних показників активованих розчинів.*
3. Бордун, І. М. Вплив глибини активації на релаксаційні процеси у електрохімічно активованій воді / І. М. Бордун, В. В. Пташник // Вісник Черкаського державного технологічного університету. — 2013. — № 1. — С. 92—95. *Проведено літературний огляд та обґрунтування напряму досліджень, здійснено повний комплекс експериментальних досліджень, узагальнено одержані результати.*
4. Бордун, І. М. Вплив розчинених газів на люмінесценцію води / І. М. Бордун, В. В. Пташник // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Електроніка. — 2013. — № 764. — С. 149—157. *Проведено повний комплекс експериментальних досліджень, виміряно спектри збудження та люмінесценції активованих розчинів з різною глибиною активації.*
5. Бордун, І. М. Люмінесценція води як характеристика впливу електричного поля на водне середовище / І. М. Бордун, В. В. Пташник, О. М. Наконечна // Системи контролю навколишнього середовища. — 2013. — № 19. — С. 283—288. *Проведено літературний огляд, обґрунтовано вибір експериментальної методики, виміряно та проаналізовано оптичні спектри збудження та люмінесценції активованих розчинів.*
6. Бордун, І. М. Контроль струму як метод визначення глибини електрохімічної активації водних розчинів / І. М. Бордун, В. В. Пташник // Енерготехнології і ресурсозбереження. — 2013. — № 5. — С. 46—50. *Обґрунтовано напрям досліджень, проведено літературний пошук та повний комплекс експериментальних досліджень.*
7. Бордун, І. М. Вплив електрохімічної активації води затворення на властивості будівельного гіпсу / І. М. Бордун, В. В. Пташник, П. В. Новосад // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 6/5 (66). — С. 32—35. *Обґрунтовано напрям та методику дослідження, виміряно механічні властивості гіпсового каменю отриманого з використанням активованої води замішування, проведено узагальнення одержаних результатів.*
8. Бордун, І. М. Дослідження зміни спектрів пропускання електрохімічно активованої води у процесі релаксації / І. М. Бордун, В. В. Пташник, Н. М. Черновол // Вісник Львів. ун-ту. Серія фізична. — 2010. — № 45. — С. 100—106. *Обґрунтовано методику дослідження, проведено вимірювання і аналізі спектрів оптичного пропускання активованих розчинів.*

9. Janich, K. Role of Ionic Transport in the Electrochemical Activation of Water Solutions / K. Janich, I. Bordun, V. Ptashnyk, V. Pohrebennyk // *Przegląd Elektrotechniczny*. — 2014. — № 1 (90). — P. 80—83. *Проведено літературний огляд, обґрунтовано методику дослідження, здійснено повний комплекс експериментальних досліджень.*
10. Пат. 73616 Україна, МПК<sup>8</sup> C 02 F 1/46. Спосіб оперативного контролю завершення процесу електрохімічної активації / І. М. Бордун, В. В. Пташник. — № u201205128 ; заявл. 25.04.12 ; опубл. 25.09.12, Бюл. № 18. — 4 с. *Проведено патентний пошуку, повний комплекс експериментальних досліджень та систематизацію одержаних результатів.*
11. Пат. 78472 Україна, МПК<sup>8</sup> H 01 G 4/008. Спосіб модифікації нанопористого вугільного матеріалу для суперконденсаторів / І. М. Бордун, В. В. Пташник, М. В. Велигорська, М. М. Садова, Р. Я. Швець. — № u201208726 ; заявл. 16.07.12 ; опубл. 25.03.13, Бюл. № 6. — 4 с. *Проведено патентний пошуку та аналізі заряд-розрядних кривих.*
12. Бордун, І. М. Дослідження релаксаційних процесів у електрохімічно активованій воді оптичними методами / І. М. Бордун, В. В. Пташник // II Міжнар. конф. «Фізичні методи в екології, біології та медицині», 2—6 вересня 2009 р. : збірник тез. — Львів-Ворохта, 2009. — С. 24—25. *Обґрунтовано методику дослідження, проведено електрохімічну активацію та спектрофотометричні дослідження одержаних розчинів у процесі релаксації.*
13. Бордун, І. М. Дослідження електрохімічно активованих водних розчинів контрольованого хімічного складу / І. М. Бордун, В. В. Пташник // X Міжнар. наук.-практ. конф. «Ресурси природних вод карпатського регіону», 19—20 травня 2011 р. : зб. наук. статей. — Львів, 2011. — С. 108—111. *Проведено повний комплекс експериментальних досліджень та контроль фізико-хімічних показників водних розчинів з різною глибиною активації.*
14. Бордун, І. М. Поверхнева обробка пористих матеріалів електрохімічно активованими водними розчинами / І. М. Бордун, В. В. Пташник, М. М. Садова, М. В. Велигорська // Наук.-техн. конф. «Фізика, електроніка, електротехніка», 16—21 квітня 2012 р. : матеріали конф. — Суми, 2012. — С. 134. *Обґрунтовано напрям та методику дослідження, проведено апаратний контроль процесу електрохімічної активації.*
15. Ptashnyk, V. V. The Influence of Electrochemical Activated Water on Gypsum Thickening / V. V. Ptashnyk, P. V. Novosad, I. M. Bordun, L. I. Cheljadyn // II Міжнар. конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», 19—22 вересня 2012 р. : збірник матеріалів. — Львів, 2012. — С. 110. *Обґрунтовано напрям та методику дослідження, проведено вимірювання механічних властивостей гіпсового каменю отриманого з використанням активованої води замішування.*
16. Бордун, І. М. Вплив температури на провідність електрохімічно активованої води / І. М. Бордун, В. В. Пташник, М. В. Велигорська, М. М. Садова // X Міжнар. наук.-практ. конф. «Вода: проблеми та рішення», 20 вересня 2012 р. : матеріали конф. — Дніпропетровськ, 2012. — С. 158—159. *Обґрунтовано напрям та методику дослідження, виміряно температурні зміни у камерах*

*електролізера під час електрохімічної активації та систематизовано одержані результати.*

17. Пташник, В. В. Вплив напруженості поля на зміну характеристик водного розчину під час електрохімічної активації / В. В. Пташник, І. М. Бордун, М. В. Велигорська, М. М. Садова // Міжнар. наук.-практ. конф. «Вода і довкілля», 6—7 листопада 2012 р. : тези доп. — Київ, 2012. — 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). — Назва з екрану. *Проведено вибір та обґрунтування напряму та методів дослідження, визначено вплив напруженості електричного поля на фізико-хімічні показники активованих розчинів.*
18. Bordun, I. M. Perspektywy wykorzystania w produkcji cukru roztworów elektrycznie aktywowanych / I. M. Bordun, W. W. Ptasznyk, R. B. Czapowska // Міжнар. наук.-техн. конф. «Новітні науково-технічні рішення в цукровій промисловості», 11—15 березня 2013 р. : тези доп. — Львів-Варшава, 2013. — С. 116—120. *Проведено літературний огляд, оцінено вплив на навколишнє середовище існуючих дезінфектантів цукрового виробництва, запропоновано шляхи зменшення екологічного навантаження від діяльності цукрового заводу.*
19. Bordun, I. M. Impact of Electrochemical Activation Depth of Water Solutions on Their Interaction With the Protein Molecules / I. M. Bordun, V. V. Ptashnyk, M. V. Velyhorska, R. B. Chapovska // International interdisc. scientif. conf. “Biologically Active Substances and Materials: Fundamental and Applied Problems”, 27 may—1 june 2013. : proceedings of the conf. — Novy Svet, 2013. — Vol. 1, P. 168. *Проведено літературний огляд, проаналізовано цифрові мікрофотографії фацій модельних біологічних розчинів.*
20. Прохоренко, С. В. Аналіз тепловитоків процесів електрохімічної активації води / С. В. Прохоренко, І. М. Бордун, В. В. Пташник, С. І. Мудрий // Міжнар. наук.-техн. конф. «Системи-2013. Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань», 24—27 вересня 2013 р. : тези доп. — Львів, 2013. — С. 158. *Розроблено експериментальну методику тепловізійного вивчення тепловитоків процесу активації та проведено комплекс експериментальних досліджень.*
21. Пташник, В. В. Метод контролю глибини електрохімічної активації для ресурсосберегаючих технологій водоподготовки / В. В. Пташник, І. М. Бордун, В. Д. Погребенник // Всерос. научн.-практ. конф. «Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность», 21—22 ноября 2013 г. : матеріали конф. — Стерлитамак, 2013. — С. 31—32. *Обґрунтовано напрям досліджень, проведено літературний огляд.*

## АНОТАЦІЯ

**Пташник В. В. Екологічно безпечні технології одержання промислових водних розчинів з використанням електрохімічної активації – Рукопис**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека – Сумський державний університет МОН України, Суми, 2014.

У дисертаційній роботі розв’язано важливу науково-прикладну задачу – розроблення екологічно безпечних технологій одержання промислових водних розчинів шляхом оптимізації процесів ЕХА у стаціонарних діафрагмових електролізерах для забезпечення раціонального використання водних ресурсів та зменшення обсягів скидання шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Удосконалено фізико-хімічну модель процесу ЕХА у стаціонарних діафрагмових електролізерах, що дало змогу пов’язати зміну властивостей одержуваних водних розчинів з різною глибиною активації. Обґрунтувати необхідність її контролю для одержання екологічно безпечних промислових водних розчинів та зменшення енергозатратності цього процесу.

Показано екологічні переваги застосування ЕХА розчинів над розчинами хімічних сполук у технологіях модифікування поверхні АВ для збільшення питомої ємності електродів суперконденсаторів, приготування води замішування будівельного гіпсу для покращення фізико-механічних властивостей гіпсового каменю, а також ефективність та безпечність дезінфектантів на основі ЕХА розчинів, які було апробовано на цукровому виробництві.

**Ключові слова:** екологічна безпека, промисловий водний розчин, електрохімічна активація, ресурсозбереження, активоване вугілля, гіпсове в’яжуче, дезінфектант.

## АННОТАЦИЯ

**Пташник В. В. Экологически безопасные технологии получения промышленных водных растворов с использованием электрохимической активации – Рукопись**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность – Сумской государственной университет МОН Украины, Сумы, 2014.

В диссертационной работе решена важная научно-прикладная задача – разработка экологически безопасных технологий получения промышленных водных растворов путем оптимизации процессов ЭХА в стационарных диафрагменных электролизерах для обеспечения рационального использования водных ресурсов и уменьшения выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Определены основные преимущества ЭХА как экологически безопасной и ресурсосберегающей технологии получения многофункциональных промышленных водных растворов, показаны основные недостатки существующих технологий активации и установлены перспективные направления внедрения ЭХА.

Установлено, что временная зависимость силы тока, протекающего сквозь стационарный электролизер во время ЭХА водных растворов при постоянном напряжении на электродах, может использоваться для оперативного контроля процесса



ЭХА водных растворов с концентрациями до 0,01 М и областью начальных температур от 10 °С до 60 °С, что уменьшает энергопотребление процесса активации и оптимизирует характеристики получаемых промышленных водных растворов.

Исследованы параметры ЭХА растворов в зависимости от глубины их активации. Показано, что процесс ЭХА сопровождается образованием безопасных для человека неустойчивых химически активных продуктов, изменением газовой фазы и структурными преобразованиями. Установлено причину увеличения люминесценции ЭХА воды за счет увеличения содержания газовой фазы и синглетного кислорода – важного природного окислителя. Повышенная активность получаемых растворов наблюдается только в слабоминерализованных ЭХА растворах, что делает технологию ресурсосберегающей по сравнению с классическим электролизом.

Показано, что скорость релаксации зависит от минерализации и условий хранения ЭХА растворов. Релаксация почти не наблюдается при концентрациях растворенных солей в исходном растворе больше 1 М и при длительности активации больше, чем время достижения минимума тока в электролизере или выхода его на насыщение. Это подтверждает важность контроля процесса активации, так как чрезмерная активация, кроме дополнительного расхода энергии, замедляет релаксационные процессы, а, следовательно, увеличивает экологическую нагрузку при сбросе неиспользованных активированных растворов в окружающую среду.

На основе полученных зависимостей сформулированы теоретические основы создания экологически безопасных технологий получения промышленных водных растворов с использованием ЭХА. Предложено решение, которое повышает эффективность использования ЭХА промышленных водных растворов с минимальными затратами энергии, делает их конкурентоспособными как по технологическим, так и по экономическим показателям и позволяет снизить техногенную нагрузку на окружающую среду за счет отказа от существующих промышленных растворов.

Для изготовления электродов суперконденсаторов выполнена модификация поверхности активированного угля ЭХА растворами хлорида калия. Показано увеличение гидрофильного объема пор угольного порошка марки БАУ в 2,16 раза, что позволяет повысить удельную емкость электродного материала на 15–25 % и сократить применение экологически опасных методов модификации поверхности угля.

Показано влияние ЭХА воды затворения на физико-механические свойства гипсового камня и установлено, что определяющую роль в таком влиянии оказывает глубина активации воды. Установлена длительность ЭХА воды затворения, обеспечивающая получение оптимального соотношения продуктов ЭХА ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ) для регулирования терминов схватывания гипсового теста и увеличения твердости гипсового камня на изгиб на 31 %, а твердости на сжатие на 29 %, что позволяет заменить модификаторы гипсовых вяжущих химического происхождения.

Методом клиновидной дегидратации определены механизмы взаимодействия активированных водных растворов с белковыми молекулами и установлено, что основная причина этого взаимодействия – структурные изменения в получаемых ЭХА растворах. Разработана технология получения экологически безопасного дезинфектанта на основе ЭХА растворов хлорида натрия и показано его эффективность на примере *E. coli*, *C. pseudotropicalis*, *A. niger*, *G. candidum*. Проверено эффективность предлагаемого дезинфектанта в лаборатории Чертковского сахарного завода. Предложены пути замены дезинфектантов, используемых в диффузном аппарате

сахарного завода – в первую очередь формалина – экологически безопасными дезинфицирующими средствами на основе ЭХА растворов хлорида натрия.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, промышленный водный раствор, электрохимическая активация, ресурсосбережение, активированный уголь, гипсовое вяжущее, дезинфектант.

## ABSTRACT

**Ptashnyk V. V. Environmentally safe technologies for obtainment the industrial water solutions with the implementation of electrochemical activation** – Manuscript

Dissertation for a degree of candidate of technical science by speciality 21.06.01 – environmental safety – Sumy State University Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2014.

The dissertation provides a solution to an important scientifically-applied problem – development of environmentally safe technologies for obtainment industrial water solutions through optimization of electrochemical activation (ECA) processes in the stationary diaphragm electrolyzers to provide for the rational water resources utilization and reduction of harmful substances release into the environment.

The physical-chemical model of the ECA process in the stationary diaphragm electrolyzers was improved. This allowed to establish a relationship between the properties of the produced water solutions and their activation depth. The need of its control for the production of environmentally friendly industrial water solutions and power reduction of this process was justified.

The ecological advantages of ECA solutions application are presented as compared to the chemical solutions in technologies of activated carbon surfaces modification to increase the supercapacitors electrode specific capacity, preparation of mixing water the gypsum cement to improve the physico-chemical properties of gypsum stone, as well as efficiency of use of disinfectant based on ECA solutions, approbated in the sugar production industry.

**Key words:** environmental safety, industrial water solution, electrochemical activation, resource-saving, activated carbon, gypsum binder, disinfectant.

Підписано до друку 15.08.2014. Формат 60×90  $\frac{1}{16}$ . Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний  
Умовн. друк. арк. 1,00. Наклад 100 прим. Зам. № 08/07.

ТзОВ «Простір-М»  
Свідоцтво ДК № 2167 від 21.04.2005 р.  
79000, м. Львів, вул. Чайковського, 27  
Тел.: (032) 261-09-05, e-mail: prostir@litech.net