

**ВИСНОВОК**  
**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення**  
**результатів дисертації**  
**Кошеля Сергія Андрійовича**

На тему: «Визначення чисел перенесення іонів в полімерних мембраних та іонних рідинах методом комп’ютерної резистометрії», що подана на здобуття ступеню доктора філософії з галузі знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія

Публічна презентація наукових результатів дисертації та її обговорення здійснювалось на засіданні кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

(протокол № «6» від «28». листопада 2023р.

### **1. Обґрунтування теми дослідження**

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі визначення чисел перенесення іонів в полімерних мембраних та іонних рідинах. Іонообмінні матеріали все ширше впроваджуються у різні галузі промисловості, в усі види енергетики, металургійні і машинобудівні виробництва. Тому актуальним завданням сучасної науки є дослідження процесів перенесення в різних іонообмінних та мембраних матеріалах, а також створення нових методів для їх аналізу.

Сьогодні в промисловості якість іонообмінних мембраних і смол оцінюють, виконуючи регулярну процедуру аналізу їх властивостей до іонного обміну як елемент атестації діючого обладнання. Велика ціна іонообмінних смол для заповнення багатотонних установок для

водопідготовки вимагає точного підтримання режиму їх роботи, що висуває підвищені вимоги до аналізу і контролю якості іонообмінних матеріалів.

При контролюванні властивостей твердофазних іонообмінних матеріалів проводиться аналіз до 15 показників, серед яких – механічна, хімічна, термічна, осмотична стійкість, сорбційна ємність, різні показники обмінної ємності (повної статичної ПСОЄ, рівноважної РСОЄ, динамічної ДОЄ, рівноважної динамічної РДОЄ та ін.). Здатність іонообмінних матеріалів до іонного обміну в першу чергу характеризуються показниками перерахованих форм ємності, які залежать від концентрації іоногенних груп в іонообмінниках. Їх експериментальне визначення проводиться на окремих пробах за рахунок аналізу динаміки зміни концентрацій у визначеному об'ємі води. Контрольна атестація таких матеріалів на промислових підприємствах є затратною дією, яка вимагає наявності кваліфікованих кадрів, використання вартісного обладнання, а також додаткових витрат на придбання високочистих і дорогих хімічних речовин.

Слід відмітити, процеси, що відбуваються в твердофазних іонообмінних матеріалах (мембронах і смолах), рідких електролітних системах або іонних рідинах – це процеси перенесення іонів. Вони відіграють важливу роль у сучасних технологіях систем водопідготовки, хімічних джерел струму (паливних елементів, літієвих джерел струму та ін.), електролізних установок (виробництво лугів і хлору), технологіях одержання чистого водню, тощо. Числа перенесення тут можуть виконувати роль спрощеного критерію, який характеризує іонообмінні та електрохімічні властивості досліджуваних матеріалів.

## **2. Наукова новизна отриманих результатів**

1. Розроблено серію сенсорів КСН, процедуру калібрування та електронне обладнання для реєстрації їх показань. Сконструйований проточний сенсор для дослідження електричного опору невеликих (від 0,2 до 2 мл) порцій досліджуваної рідини.

2. Запропоновано теоретично обґрунтований та експериментально підтверджений метод диференційної ітп-метрії для визначення чисел перенесення в різних іонообмінних системах: іонообмінних мембрanaх та смолах, розчинах лугів, кислот, солей та іонних рідин.

3. Вперше за допомогою методу комп'ютерної резистометрії досліджено вплив електричних полів на процеси регенерації іонообмінних смол в лабораторних установках.

4. Встановлена залежність рівноважного стану системи розчин-іоніт і рівноважної обмінної ємності від концентрації модельних розчинів NaOH і NaCl в конвективній установці. Вперше показано, що швидкість обміну іонів в гелевому шарі іонітів не залежить від ступеня їх насищення модельними розчинами.

5. Розвинені наукові уявлення про особливості іонного транспорту в іонних рідинах. За допомогою методів комп'ютерної резистометрії та pH-метрії проведено комплексні дослідження розчинів іонних рідин – продуктів взаємодії органічних ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) та неорганічних ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) кислот з етаноламінами.

### **3. Практичне значення отриманих результатів.**

Запропонований метод дає спрощену оцінку якості будь-якого рідиннофазного або твердофазного іонообмінного матеріалу в формі одного числа перенесення. Ця оцінка опосередковано характеризує таку ж саму властивість якості матеріалу, як і промислові методи, але досягається вона в 30-хвилинному електролізі простих речовин: лугу – NaOH, кислот –  $\text{CH}_3\text{COOH}$  або  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , солі – NaCl.

### **4. Використання результатів дослідження (акти)**

Результати роботи впроваджено в курси та практичні заняття освітніх компонентів «Сучасні методи водопідготовки» та «Комп'ютерні розрахунки в хімії та хімічних технологіях» освітньо-професійної та освітньо-наукової

програм «Хімічні технології та інженерія» другого (магістерського) рівня підготовки за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія в межах навчального навантаження кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ УДХТУ.

**5. Особистий внесок здобувача** (плагіат) полягає в критичному аналізі та систематизації науково-технічної та патентної літератури; плануванні та здійсненні теоретичних та експериментальних досліджень; виконанні необхідних розрахунків; аналізу результатів та формулюванні висновків; підготовці тез, доповідей та публікацій. Постановка задач дослідження, обговорення результатів і формулювання висновків проведені спільно з науковим керівником д.т.н., проф. Черваковим О.В.

Внесок співавторів спільних публікацій полягає в науковому керівництві, вибору методики експериментів та аналізів, обговоренні та підготовці публікацій за результатами дослідження.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет».

Дисертаційна робота Кошеля С.А. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів plagiatu та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело. (Програма перевірки: Unicheck, ID файлу:1015630662 (дата)30.11.2023 Оригінальність – 95,69%, відсоток схожості – 4,31 % (джерела посилань з Інтернету)

## **6. Перелік публікацій за темою дисертациї**

Результати досліджень за темою дисертації викладено у 18 друкованих роботах, серед яких: 7 наукових статей; 1 монографії; 10 тез та матеріалів доповідей наукових конференцій.

1. Koshel N.D., Koshel S.A. Determining Conditional Constants of Conductometric Sensors. Surf. Engin. Appl.Electrochem. 2022. Vol. 58, P.540-547. [https://doi.org/10.3103/S1068375522050076 \(SCOPUS\)](https://doi.org/10.3103/S1068375522050076)

*Здобувачем сконструйовані проточні низькочастотні двохелектродні сенсори КСН з платиновими електродами, Розроблена технологія калібрування сенсорів. Показано, що всі характерні параметри сенсорів, в тому числі «константа» сенсора, насправді залежать від виду розчиненої речовини*

2. Koshel N.D., Koshel S.A., Polishchuk Y.V. Mathematical model of two-chamber elektrolyser dynamics for studying properties of ion exchange membranes based on proton ionic liquids. Український хімічний журнал, 2022. Vol.88(2). P.131-137. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.88.02.2022.131-137>

*Здобувачем виконані розрахунки масообмінних процесів в двокамерному реакторі-електролізера при електролізі розчинів простих сильних електролітів  $NaOH$  і  $NaCl$  з сітковими електродами з платинованого титану. В експериментах контролювалась динаміка зміни концентрацій в камерах. Встановлено масовий баланс потоків речовин через іонообмінну мембрани шляхом вирішення системи рівнянь з 5-ма невідомими параметрами*

3. Кошель Н.Д., Смирнова Е.В., Буртовая В.П., Кошель С.А. Оценка обменных свойств анионита АН-2ФН методом компьютерной резистометрии. Вопросы химии и химической технологии. 2018. №5, С. 23-30. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchem\\_2018\\_5\\_5 \(SCOPUS\)](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchem_2018_5_5)

*Здобувачем створена експериментальна установка для вивчення динаміки обмінних процесів в промислових іонітах. Для моніторингу складу розчину використано метод комп'ютерної резистометрії для суміші розчину  $NaOH+NaCl$  з наступною комп'ютерною обробкою сигналу. Показано, що в умовах контролю гелевої дифузії в іонітах швидкість обміну не залежить від ступеню насичення іоніту. Визначені ізотерми рівноваги іонів  $OH$  і  $Cl$ , обмінна ємність смоли.*

4. Кошель, С.А. Кошель Н.Д., Корпач С.В. Метод оцінювання чисел перенесення в іонообмінних матеріалах. Український хімічний журнал. 2022. №88(8) С.131-137. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.88.08.2022.79-96>

*Здобувачем виконані розрахунки, які пропонує новий метод itn-метрії для точного визначення чисел перенесення в матеріалах з іонообмінними властивостями, (іонообмінні смоли, мембрани, іонні рідини.)*

5. Koshel N.D., Koshel S.A., Gerasika N.S. Physical and Chemical Properties of Aqueous Solutions of Diethanolamine Borate. Surf. Engin. Appl. Electrochem. 2023 Vol 59, P.163–171. [https://doi.org/10.3103/S1068375523020102 \(SCOPUS\)](https://doi.org/10.3103/S1068375523020102)

*Здобувачем виконано дослідження синтезованої на кафедрі ТПЖ та ХІІ іонної рідини на основі діетаноламіну і борної кислоти*

6. Koshel, N.D., Koshel, S.A., Sverdlikovskaya, O.S., Chervakov, O.V. Equilibrium States in Aqueous Solutions of Some Ionic Liquids. Surf. Engin. Appl. Electrochem. 2021. Vol.57, P.88–100. [https://doi.org/10.3103/S1068375521010063 \(SCOPUS\)](https://doi.org/10.3103/S1068375521010063)

*Методами комп'ютерної резистометрії і pH-метрії дослідженні фізико-хімічні властивості водних розчинів 6 зразків іонних рідин, синтезованих на основі продуктів взаємодії органічних і неорганічних кислот з ациклічними олігомерами.*

7.Koshel, N.D., Smirnova, E.V., Koshel, S.A. Study of Ion Exchangers in Electric Fields Using Resistometric Measurement. Part 2. Methods and Equipment. Surf. Engin. Appl. Electrochem. 2019. Vol.55, P.576–586. [https://doi.org/10.3103/S1068375519050065 \(SCOPUS\)](https://doi.org/10.3103/S1068375519050065)

*Здобувачем проаналізовано вплив електричних полів на іонний транспорт в системі іонообмінна смола-вода. Показано, що дія слабих електричних полів проявляється в порушенні форми поля і зміненні сумарної швидкості руху іонів в напрямі руху потоку води. Цей ефект при деяких умовах може бути позитивним. Експериментами доведено, що позитивний ефект проявляється для слабих іонообмінників в зростанні глибини перетворення смоли.*

8. Свердліковська О.С., Черваков О.В., Феденко О.О., Кошель С.А., Левченко Є.П. Полімерні іонні рідини та іонні рідини іоненового типу. Монографія Розділ 3. Олігомерні та низькомолекулярні іонні рідини на основі продуктів взаємодії амінів з неорганічними кислотами. Дніпро, ДВНЗ «УДХТУ». - 2021, 198 с.

*Здобувачем на основі методу комп'ютерної резистометрії виконані обрахунки експериментальних даних, одержаних при електрохімічних дослідженнях іонообмінних матеріалів. На основі цих даних зроблені висновки про найбільш вірогідні механізми руху іонів в водних розчинах ациклічних іонних рідин.*

9. Костыря М.В., Корпач С.В., Кошель Н.Д., Кошель С.А. Электрохимия на службе энергетики. Тези доповідей XXIII Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХXI столітті» 19-20 травня 2022 року Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, С.90-91; <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/tezy-2022.pdf>

*Здобувачем зроблено порівняння різних методів перетворення енергії і перспективи їх використання у майбутньому.*

10. Кошель Н.Д., Кошель С.А., Поліщук Ю.В. Математична модель динаміки двокамерного електролізера для вивчення властивостей іонообмінних мембрани на основі протонних іонних рідин. Тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми хімії та хімічної технології». 30 листопада 2022 року, Київ НУХТ, С.293-295; <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/38982>

*Здобувачем методом математичного моделювання проаналізовані дані, одержані при дослідженні іонообмінних мембрани, синтезованих на основі протонних іонних рідин. Сформульована математична модель процесів у двокамерному електролізери*

11. Кошель С.А., Кошель М.Д., Черваков О.В. Фізико-хімічні явища та процеси перенесення через плівкові іонообмінні мембрани, синтезовані на основі суміші мурасиної кислоти, ПВС та діетаноламінборату при

електролізі водних розчинів // Тези доповідей І Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми хімії та хімічної технології». 30 листопада 2022 року, КИЇВ НУХТ, С.291-292  
<https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/38982>

*Здобувачем вивчені процеси масообміну при електролізі розчинів  $NaOH$  у двокамерному електрохімічному реакторі з електродами з платинованого титану. На мембрани MA-40 по значенню зміни об'єма  $V$  камер (-) і (+) знайдена швидкість електроосмотичного перенесення води*

12. Koshel N.D., Koshel S.A., Chervakov O.V., Andriyanova M.V. Determination of transfer numbers of proton-conducting membranes based on ammonium interpolymer complexes (AIPK). Тези доповідей І Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми хімії та хімічної технології». 30 листопада 2022 року, КИЇВ НУХТ, С.283-284.  
<https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/38982>

*Здобувачем вивчений перенос іонів в іонообмінних мембранах на основі інтерполімерних амонійних комплексів (АІПК). В експериментах в трикамерному реакторі-електролізери використовували нейтральні і іонообмінні мембрани. визначено точні значення чисел перенесення в даних мембранах.*

13. Кошель Н.Д., Кошель С.А., Герасіка Н.С., Левченко Е.П., Черваков О.В. Фізико-хімічні властивості іонної рідини на основі діетаноламіну і борної кислоти. Тези доповідей Всеукраїнської наукової конференції ТАСХ «Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів», 10 квітня 2021. Дніпро “Середняк Т.К.” С.149-152;  
<https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/4417>

*Здобувачем розглянуто задачу дослідження рівноважних станів водних розчинів іонної рідини на основі діетаноламін боратаму. Виявлено, що продукт синтезу ДЕАБ є типовою іонної рідиною зуніполярним типом іонної провідності і великим числом переносу аніона. Запропонована схема будови ДЕАБ у водному розчині*

14. Koshel M.D., Koshel S.A. Mathematical simulation of the ion exchange system operation Тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «КМОСС», 3-5 листопада 2021 року м. Дніпро, С.31-34; <https://udhtu.edu.ua/vii-mizhnarodna-naukovo-technichna-konferencziya-kmoss>

*Здобувачем розглянута робота іонообмінної колони, заповненої сферичними кульками іонітів. Створена комп'ютерна програма в системі ТурбоПаскаль, яка моделює процеси очищення-регенерації в колоні*

15. Кошель Н.Д., Кошель С.А., Свердликова О.С., Черваков О.В. Физико-химические свойства водно-органических растворов некоторых ионных жидкостей. Тези доповідей V регіонального симпозіуму Міжнародної спілки електрохімії (ISE) «Перспективні матеріали і процеси в прикладній електрохімії», 2020. Тези доповідей КНУТиД, Київ, грудень 2020, С.232-239; <https://er.knudt.edu.ua/handle/123456789/16949>

*Здобувачем розглянуті фізико-хімічні властивості водно-органічних розчинів низки іонних рідин. Сформульовані висновки про можливі механізми іонного транспорту.*

16. Koshel N.D., Koshel S.A., Polishchuk Y.V. Environmental monitoring by the differential itn-metry method, Тези доповідей 5<sup>th</sup> International scientific and technical conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources” 11 листопада 2022 року, Petrosani, Румунія С.44-46

[https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine\\_2022\\_Book\\_of\\_Abstracts.pdf](https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine_2022_Book_of_Abstracts.pdf)

*Здобувачем запропоновано використання методу диференційної itn-метрії в роботах по дослідженню широкого кола проблем екологічного моніторингу та управлінню екологічними проектами.*

17. Кошель С.А., Корпач С.В., Поліщук Ю.В., Кошель М.Д. Regularities of establishing ion-exchange equilibrium insolid-phase cationite. Тези доповідей III Міжнародної наукової конференції "Current problems of chemistry, materials science and ecology" Факультет хімії, екології та фармації Волинського

національного університету ім. Лесі Українки, Луцьк, 14 червня 2023, С.24-27.

<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/22409>

*Здобувачем розглянута проблема іонного переносу в іонообмінних матеріалах в електричних полях. Показано, що в слабких електричних полях може бути позитивний ефект прискорення загального процесу в колонні в режимах поглинання домішок у воді або при регенерації смоли*

18. Кошель С.А., Кошель М.Д., Корпач С.В. Дослідження іонообмінних процесів системи прискореної регенерації іонітових смол в слабких електричних полях. Тези доповідей Міжнародної конференції з хімії, хімічної технології та екології, присвяченої 125-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського 26-29 вересня 2023 року, Київ. С.120-121. <http://tnr.kpi.ua/index.php/ua/menuscienc-ua/menumitings-ua/menumitingreport-ua>

*Здобувачем розглянута проблема іонного переносу в іонообмінних смолах при накладанні на них слабих електричних полів. Експериментально доведено, що ефект проявляється або як прискорення процесу до рівня 50-60%, або зростанню на таку ж величину ступеню перетворення (ступеню очищення води або ступеню регенерації смоли)*

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Кошеля С.А. «Визначення чисел перенесення іонів в полімерних мембранах та іонних рідинах», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії за актуальністю, ступенем обґрунтованості наукових положень та висновків, повнотою іх викладання в опублікованих працях повністю відповідає вимогам п.п. 5-8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

Головуючий на засіданні  
Доцент кафедри технологій  
природних і синтетичних полімерів,  
жирів та харчової продукції  
канд. хім. наук, доц.



Костянтин ВАРЛАН

Підпис доц. Варлана К.Є. засвідчує:

Вчений секретар ДВНЗ  
«Український державний  
хіміко-технологічний  
університет»



Лариса РУДНЄВА