

Ю.Г. ЗМІЄВСЬКИЙ,
В.Г. МИРОНЧУК

Національний університет харчових технологій

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОДІАЛІЗАТОРІВ

Проаналізовано конструктивні особливості електродіалізаторів з метою підбору ефективної конструкції, що може застосовуватись для знесолення рідких харчових середовищ. Зроблено висновок, що найкраще у харчовій промисловості застосовувати електродіалізатори, в яких передбачена періодична зміна полярності електродів, а також конструкція, що унеможливорює концентрування в одній камері сполук, здатних утворювати важкорозчинні з'єднання. Результати досліджень можуть бути використані при підборі електродіалізатора для знесолення рідких харчових середовищ.

Ключові слова: електродіалізатор, електродіалізна установка, конструктивні елементи

На сьогодні для знесолення рідких харчових середовищ (молочна сироватка, виноматеріали тощо) та концентрування мінеральних речовин у водних розчинах все частіше застосовують процес електродіалізу. Конструктивне оформлення електродіалізатора і його елементів впливає на ефективність та швидкість знесолення, енерговитрати тощо. З метою виявлення найкращих технічних рішень, авторами був проведений аналіз патентної інформації, щодо конструктивних особливостей найбільш привабливих, з практичної точки зору, електродіалізаторів.

До складу більшості конструкцій входять наступні елементи: притискні плити, електроди, катіонітові та аніонітові мембрани, між якими розміщуються прокладки. Останні обмежують розміри камер, які за функціональним призначенням можна поділити на камери концентрування, дилуатні (або камери знесолення) та електродні. В середину камер закладаються сітки-турбулізатори, а якщо прокладки виготовляють методом лиття чи штамповки, то, як правило, в них вбудовані елементи, що виконують функцію турбулізаторів потоку. За рахунок цього зменшується товщина дифузійного шару, покращується конвективний потік іонів до поверхні мембран, зменшується ймовірність утворення осаду [1].

Якщо електродіалізатор розділити на послідовно з'єднані секції, в яких поступово зменшується кількість камер і, відповідно, загальна площа поперечного перерізу каналів, то швидкість розчину буде зростати на тому етапі процесу, коли степінь знесолення досягне заданого рівня. Це дозволяє підтримувати значення концентраційної поляризації практично на одному рівні по всій довжині робочих каналів електродіалізатора, знизити ймовірність утворення осаду на мембранах [2].

Зменшити втрати напору дозволяє циліндрична форма електродіалізатора [3]. За таких умов, мембрани, між якими розміщуються прокладки, завертають у вигляді рулону з однаковою кількістю витків і закріплюють всередині корпусу фіксаторами. Електроди намотують на котушки, між якими розміщуються робочі камери.

Для спрощення конструкції та підвищення надійності герметизації камер, корпус електродіалізатора можна зробити монолітним, а колектори для вводу та виводу розчину, розмістити між стінками корпусу та пакетом іонообмінних мембран [4]. За такої конструкції потоки будуть направлені перпендикулярно один до одного, вісь електричного струму буде вертикальною. Набір відповідних прокладок, розміщених між мембранами, забезпечить надходження розчину у відповідні

камери, тобто з колектору, в який надходить диліоат, розчин може потрапити лише у диліоатні камери, і так само з концентратом. Герметичність між колекторами забезпечується шляхом заливання швидкотвердіючого матеріалу (герметика) по кутам камери по всій висоті корпусу.

Для спрощення збирання електродіалізатора іонообмінні мембрани можна виконати у формі неперервних стрічок, що огинають перфоровані перегородки, а катіонітові мембрани повернути на 90° відносно аніоніонових [5].

З метою зменшення осадоутворення на поверхні іонообмінних мембран, автори роботи [6] вихідну воду послідовно направляли в анодну, диліоатні та катодну камери. За рахунок анодного окислення на електроді, розчин підкислявся, що збільшувало розчинність солей жорсткості, катодне окислення — нейтралізувало рН обробленої води. Густина струму підтримували такою, щоб у камерах концентрування було значення $\text{pH} \leq 3$. Зафіксовано, що за рахунок відсутності осаду, питомі енерговитрати знижуються майже вдвічі, а продуктивність зростає практично у 6 разів в порівнянні з прототипом.

Регулювання рН можна здійснювати за допомогою біполярних мембран, які генерують іони H^+ та OH^- . Якщо між парою катіонітових та аніонітових мембран, що утворюють диліоатні камери, розмістити біполярну мембрану, то в одних камерах концентрування буде $\text{pH} > 11$, а в інших $\text{pH} < 3$ [7].

Заповнення диліоатних камер іонообмінними та сорбційними матеріалами також забезпечує високий рівень демінералізації при зменшених енерговитратах [8]. Авторам роботи [9] вдалось отримати воду кондиції дистилляту при заповненні міжмембранного простору поліамфолітами АНКБ-35 та АНКБ-50 та кондиції бідистилляту при заповненні камер знесолення поліамфолітами АНКФ-21.

Для зменшення негативного впливу гумусових речовин на процес електродіалізу доцільно [10] першу диліоатну камеру засипати катіонообмінною смолою та пористим сорбентом, що містить аніонообмінні функціональні групи, наступні — катіоно- та аніонообмінною смолою. За даними авторів, це дозволяє, збільшити ресурс роботи установки у 2 — 3 рази, в порівнянні з прототипом, до моменту зниження якості обробленої води.

Якщо на поверхні мембран зробити заглиблення сферичної форми діаметром 0,8 — 0,9 та глибиною 0,1 — 0,2 від товщини прокладок та помістити у ці заглиблення гранули іонообмінної смоли діаметром 0,8 — 0,9 від товщини прокладок, то можна збільшити продуктивність установки вдвічі, скоротивши питомі витрати енергії у 2,5 рази [11].

Для уникнення формування осаду на поверхні мембран, досить часто використовують «переполюсовку» (зміну умовного напрямку електричного струму). Таким чином диліоатні камери, через заданий проміжок часу, починають виконувати функцію камер концентрування. При цьому розчин, що знесолюється, направляють у сусідні камери електродіалізатора, щоб продовжити процес демінералізації. Далі цикл повторюється. Незважаючи на складність управління процесом за таких умов та збільшення загальної довжини трубопроводів, цей спосіб найбільш поширений на практиці, адже дозволяє «вимивати» осад, що почав формуватись на поверхні мембран [12].

Введення додаткових диліоатних камер, через які подається розчин, вільний від малорозчинних сполук, а також створення камер концентрування непроточними, дозволяє уникнути відкладання нерозчинного осаду на мембранах. Це досягається за рахунок концентрування сполук, здатних утворювати осад, у різних камерах, при цьому можна отримати розчин електроліту з концентрацією солей $80 - 120 \text{ г/дм}^3$ [13].

З метою зменшення втрат електричного струму, при демінералізації розбавлених розчинів, камери концентрування доцільно робити непроточними. Пази, що відводять концентрат, робляться в прокладці та розташовуються у нижній частині, при цьому вони не мають виходу з камери і заблоковані мембранами [14]. За рахунок електроосмотичного перенесення іонів та їх гідратних оболонок, об'єм розчину так само, як і тиск у камері, збільшується. Нижня частина прокладок, розташованих у диліоатних камерах, мають форму, яка дозволяє мембрані під дією тиску відхилитись та відкривати отвір. Через цей отвір видаляється надлишок концентрату, стікаючи у ємність, що розміщується під електродіалізатором.

Для забезпечення рівномірного розподілу потоку, в рамці на вході та виході з камер розміщують гребінки по всій ширині, розмір впадин яких збільшується по мірі віддалення від

отвору, через який подається розчин [15]. Якщо установка періодичної дії, то можна пригальмувати процес формування осаду на іонообмінних мембранах шляхом відключення електричного струму і видалення розчину з ділюатних камер на проміжок часу, що складає 5 – 20 % від часу демінералізації [16]. Незважаючи на простоту, цей спосіб не отримав широкого розповсюдження внаслідок низької продуктивності установки, яка працює за таким принципом.

Висновки. На основі проведеного аналізу зроблено наступні висновки:

1. Поступове зменшення загальної площі поперечного перерізу каналів разом з інтенсифікацією процесу підвищує напір на вході в електродіалізатор до 0,3 – 0,4 МПа. При цьому зростання швидкості потоку сприяє зменшенню степені демінералізації за один прохід розчину, що пояснюється його нетривалим перебуванням у робочій камері.
2. Циліндрична форма електродіалізатора непридатна для харчової промисловості, бо вихідний розчин подається у всі камери одночасно і, лише, на виході розділяється на концентрат та ділюат. Це означає, що тільки половина рідини буде знесолена та направлена на подальшу обробку. Також недопустимий контакт харчових середовищ з електродами, адже продукти електродного окислення включають небезпечні для людини елементи, такі як Cl_2 , H_2 тощо.
3. Використання герметиків, клеїв та подібних речовин для герметизації камер електродіалізатора недоцільно, тому що вони ускладнюють розбирання установки при профілактичних роботах та візуальному огляді.
4. Конструкція електродіалізатора має забезпечувати максимально ефективне використання мембран, в зв'язку з їх високою вартістю.
5. В електродіалізаторах з біполярними мембранами надходження таких катіонів, як Ca^{2+} та Mg^{2+} в камери з лужним середовищем сприятиме утворенню важкорозчинних з'єднань ($Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$ тощо) на поверхні мембран.
6. У якості міжмембранної засипки доцільно використовувати іонообмінні смоли, адже сорбенти дуже чутливі до початкової концентрації розчину, а також їх складно регенерувати.
7. За умов масового виробництва застосування електродіалізаторів, складання яких вимагає надзвичайно високої точності та багато кропіткої ручної праці, обмежене.
8. Досить складно забезпечити герметичність камер, коли підведення потоку відбувається по всій ширині камери, до того ж це зменшує електричний опір таких каналів, що збільшує відсоток неефективного використання електричного струму.
9. Уникнути формування осаду на поверхні мембран можна шляхом постійної зміни умовного напрямку електричного струму, а також за рахунок унеможливлення концентрування в одній камері сполук, здатних утворювати малорозчинні з'єднання. Такі конструкції є найбільш ефективними.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Заболоцкий В. И.* Перенос ионов в мембранах: научное издание / В.И. Заболоцкий, В.В. Никоненко. — М.: Наука, 1996. — 392 с.
2. *Пат. 1819155* Российская Федерация, МПК⁷ В 01 D 61/46. Электродиализатор / Каджая Т.А., Антадзе А.И., Балавадзе Э.М.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное объединение «Пластмассы». — № 4880417/26; заявл. 11.10.90; опубл. 30.05.93, Бюл. № 20.
3. *А.с. 1797969* СССР, МКИ³ В 01 D 61/44. Электродиализатор / Н.И. Рукобратский, О.А. Смирнова, В.Г. Степанов (СССР). — № 4879838/26; заявл. 02.11.90; опубл. 28.02.93, Бюл. № 8.
4. *Пат. 1834698* Российская Федерация, МПК⁷ В 01 D 61/46. Электродиализатор / Заболоцкий В.И., Дерявко А.Ф.; заявитель и патентообладатель Кубанский госуниверситет. — № 5013863/26; заявл. 17.09.91; опубл. 15.08.93, Бюл. № 30.
5. *А.с. 1643038* СССР, МКИ³ В 01 D 61/42. Электродиализатор / Н.Д. Волошин, Т.А. Кизымишина, В.Л. Игнатцова (СССР). — № 4650357/26; заявл. 19.12.88; опубл. 23.04.91, Бюл. № 15.
6. *А.с. 1757725* СССР, МКИ³ В 01 D 61/44, 61/46. Способ снижения соледержания водных растворов и мембранный аппарат для его осуществления / И.Н. Медведев, В.П. Василевский, С.И. Гдалин (СССР). — № 4739305/26; заявл. 29.09.89; опубл. 30.08.92, Бюл. № 32.
7. *Пат. 2050176* Российская Федерация, МПК⁷ В 01 D 61/46, С 07 С 227/12. Электродиализатор / Письменский В.Ф., Письменская Н.Д., Сеничева М.А.; заявитель и патентообладатель Кубанский госуниверситет. — № 5027664/26; заявл. 17.02.92; опубл. 20.12.95, Бюл. № 35.

8. Кастючик А.С. Деионизация воды электродиализом с ионообменными мембранами, гранулами и сетками / А.С. Кастючик, В.А. Шапошник // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2009. — Т. 9. — Вып. 1. — С. 51 — 57.
9. Шапошник В.А. Обессоливание воды электродиализом с межмембранной засыпкой полиамфолитами / Применение электродиализа в мембранно-сорбционной технологии очистки и разделения веществ: всесоюз. совещание, 12 — 14 ноября 1984 г.: тезисы докл. — Черкассы, 1984. — С. 134 — 135.
10. Пат. 1834697 Российская Федерация, МПК⁷ В 01 D 61/44. Электродиализатор / Журавлев Б.Б.; заявитель и патентообладатель Журавлев Б.Б. — № 5024711/26; заявл.30.01.92; опубл.15.08.93, Бюл. № 30.
11. Пат. 2056912 Российская Федерация, МПК⁷ В 01 D 61/44. Многокамерный электродиализатор / Истошин Г.Н., Заболоцкий В.И.; заявитель и патентообладатель Инновационное предприятие «Мембранная технология». — № 93021494/26; заявл. 23.04.93; опубл. 27.03.96, Бюл. № 9.
12. Turek M. High efficiency electrodiolysis of concentrated calcium sulfate and calcium carbonate solutions / M. Turek, P.Dydo, J. Was / Desalination. — 2007. — V. 205. — P. 62 — 66.
13. Пат. 86529 У країна МПК⁶ А 23 С 9/144. Електродіалізатор / Змієвський Ю.Г., Мирончук В.Г., Українець А.І., Кучерук Д.Д., Грушевська І.О.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № а200714012; заявл. 13.12.2007; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.
14. А.с. 1029458 СССР, МКИ³ В 01 D 61/50. Электродиализатор / В.К. Егоров, Н.Е. Ермолаев, В.И. Демкин (СССР). — № 3223909/26; заявл. 29.12.80; опубл. 30.03.92, Бюл. № 12.
15. А.с. 1611368 СССР, МКИ³ В 01 D 61/42. Многокамерный электродиализатор / М.Г. Бакланов, Е.Ф. Пантелеев, И.П. Плешивцев (СССР). — № 4319458/23-26; заявл. 26.10.87; опубл. 07.12.90, Бюл. № 45.
16. А.с. 1166376 СССР, МКИ³ В 01 D 61/44. Способ опреснения соленых вод / Б.С. Троянкер (СССР).— № 3561362/26; заявл. 01.03.83; опубл. 30.06.93, Бюл. №24.

Проанализированы конструктивные особенности электродиализаторов с целью подбора эффективной конструкции, которая может использоваться при обессоливании растворов пищевых сред. Сделан вывод, что наиболее подходящими для применения в пищевой промышленности являются электро-диализаторы, в которых предусмотрена периодическая смена полярности электродов, а также конструкция, в которой вещества, способные образовывать труднорастворимые соединения, концентрируются в разных камерах. Результаты исследований могут быть использованы при выборе электродиализатора для обессоливания растворов пищевых сред.

Ключевые слова: электродиализатор, электродиализные установки, конструктивные элементы.

YU. Zmievskiy, V. Myronchuk

Analysis of structural features electrodiolizers

The structural features of elektrodializers were analyzed in order to select an efficient design which can be used for desalination of liquid food medias. The elektrodializers which were studied: elektrodializers with multiple sections, each with different number of cells; elektrodializers with monolithic construction body; elektrodializers with membranes installed without cutting; elektrodializers with bipolar membrane; elektrodializers with intermembrane backfil; elektrodializers with perforated membrane; elektrodializers with non circulating cells of concentration and others. It has been concluded that it is better to use elektrodializers with periodic change of electrodes polarity in the food industry, as well as designs of elektrodializers preventing concentration of compounds forming insoluble compositions in one cell. The research results can be used in selection of elektrodializers for desalination of liquid food medias.

Key words: elektrodializers, electrodiolysis design, structural features.

Одержана редколегією 15.05.2012 р.