

Електрохімічно активовані розчини як екобезпечні дезінфектанти цукрового виробництва

І.М. Бордун, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка»,

В.В. Пташник, аспірант, Національний університет «Львівська політехніка»,

Р.Б. Чаповська, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка»,
Анджей Барига, доктор інженер, директор відділу цукрівництва, Інститут біотехнології сільського господарства та харчової промисловості (Польща)

У статті проаналізовано такі механізми біологічної активності електрохімічних активованих водних розчинів як: контрольована зміна значень водневого показника і окислювально-відновного потенціалу активованих розчинів, утворення нестійких високоактивних частинок і сполук та формування в розчині метастабільних структур води. Показано, що аноліт - це екологічно безпечний і активний дезінфектант, який можна успішно використовувати на різних етапах виробництва цукру.

Ключові слова: дезінфектант, електрохімічна активація, аноліт, біологічна активність.

В статье проанализировано такие механизмы биологической активности электрохимически активированных водных растворов как: контролируемое изменение значений водородного показателя и окислительно-восстановительного потенциала активированных растворов, образование неустойчивых высокоактивных частиц и соединений и формирование в растворе метастабильных структур воды. Показано, что анолит – это экологически безопасный и активный дезинфектант, который можно успешно использовать на различных этапах производства сахара.

Ключевые слова: дезинфектант, электрохимическая активация, анолит, биологическая активность.

Вступ

У зв'язку з постійним зростанням конкурентної боротьби на товарних ринках важливим завданням є вдосконалення існуючих виробничих технологій, які б дозволили отримувати конкурентоздатний та високоякісний продукт. Це, зокрема, стосується і виробництва цукру, оскільки цукрове виробництво належить до стратегічних галузей в аграрному комплексі України. Цукор є високоліквідним товаром як для внутрішнього, так і для зовнішнього ринку, а успішний розвиток цього виробництва може істотно вплинути на стан економіки нашої держави [1, 2]. Якщо врахувати, що галузь тісно пов'язана з багатьма іншими виробництвами, то її можна вважати визначальною складовою продовольчої незалежності [1]. Разом з тим, інтенсифікуючи існуючі вироб-

ничі процеси не можна уникнути і питання захисту навколишнього середовища та ефективного використання природних ресурсів, що знаходяться в числі найважливіших наукових завдань, розв'язання яких вимагає ґрунтовного та виваженого підходу.

Постановка проблеми

Електрохімічна активація (ЕХА) водних розчинів є одним з новітніх напрямів розвитку екологічно безпечних технологій, який впродовж останніх десятиріч успішно впроваджується у різноманітних галузях виробництва [3-5]. Стрімкий розвиток технології ЕХА обумовлений такими чинниками як екологічність, відносна простота технологічного впровадження, низька собівартість одержаних розчинів тощо.

Вимоги до безпеки харчових

продуктів суттєво обмежують можливості технологів у виборі хімічних і мікробіологічних реагентів у порівнянні з іншими промисловими технологіями. Тому історія розвитку хімічних аспектів харчових технологій пов'язана так чи інакше з пошуком безпечних, але ефективних реагентів і способів нейтралізації хімічних і мікробіологічних продуктів у технологічному потоці створення харчового продукту. Однією зі сфер практичного використання ЕХА водних розчинів є одержання дезінфікуючих засобів, зокрема і для харчових виробництв. Основною відмінністю таких розчинів від, наприклад, звичайних розчинів хлору, гіпохлориту натрію, пероксиду водню, діоксиду хлору є те, що у них довгий час можуть співіснувати речовини-антагоністи, які у звичайних розчинах всту-

пають у реакції нейтралізації і взаємно знищуються [6, 7].

Виклад основного матеріалу

Робота цукрового виробництва пов'язана з необхідністю досить тривалого зберігання великої кількості цукрового буряка, оскільки цукровий завод працює близько 60-110 діб на рік, а збирання буряка проводиться протягом одного місяця [8]. Як правило, втрати цукру становлять у перший тиждень зберігання 0,01% в день, а потім – 0,05% в день. Зменшення цих втрат є дуже важливою задачею підвищення ефективності цукрового виробництва. Водночас, цукровий буряк зазнає впливу хвороботворних мікроорганізмів, які знаходяться на коренеплодах, що у кінці кінців призводить до його загнивання. Причому збудниками цього процесу можуть бути різні види грибів та бактерій. Для боротьби з цими процесами використовують фізичні методи захисту (у першу чергу – вентиляцію), а також хімічні реагенти (консерванти та антисептики), серед яких найпростішими є вапняне та хлорне молоко.

Використання ЕХА розчинів для зберігання буряка запропоновано у роботах [9, 10]. Суть технологій зводиться до того, що буряк перед переробкою миють у суміші води та аноліту з рН від 5 до 7 та концентрацією оксидантів на рівні 1-2 мг/л. У процесі закладки буряка у кагат згідно [9], його обприскують тим же анолітом з вмістом оксидантів 200-300 мг/л. Витрати аноліту під час обприскування становлять 4-5 л на тонну буряка, а у процесі миття – 1-2 л на тонну. Випробування цієї технології на практиці [6] показало, що під час зберігання коренеплодів упродовж 90 діб втрати сахарози становили 1,5-1,8%. У той час втрати сахарози у цих же районах склали від 2,2 до 2,6% при обробці перед зберіганням вод-

ним розчином 2-хлоретилфосфорної кислоти у концентрації 0,25-0,35% (3,5-4 л на тонну буряка), і 2,4-3,2% – при обробці буряка перед зберіганням водним розчином тіосульфату натрію (0,5%) і борної кислоти (0,8%) з розрахунку 5-6 л на тонну буряка. Відзначимо, що для приготування 1000 л ЕХА розчину для обробки коренеплодів обприскуванням витрачається не більше 2-4 кВт/год електроенергії.

Іншим важливим моментом виробництва цукру є **якість дифузійного соку**. Цей сік є поживним середовищем для різних мікроорганізмів – бактерій, дріжджових та пліснявих грибів. Знищення мікроорганізмів можливе як термічним, так і хімічним впливом. Однак витримання дифузійного соку при високих температурах призводить до різкого зростання кількості пектинових речовин, які, як відомо [8], негативно впливають на фільтрацію. Тому використовують різноманітні хімічні реагенти, значна частина яких високо токсичні та екологічно небезпечні (до них, в першу чергу, відноситься формалін). Крім того, значним недоліком хімічного впливу є здатність мікроорганізмів до адаптації, оскільки концентрації дезінфікуючих розчинів обмежуються вимогами екологічної безпеки.

Як альтернативу традиційним хімічним реагентам пропонується використати аноліт з рН < 5 у якості добавки при отриманні дифузійного соку [11]. **Така бактерицидна добавка до живильної води** дозволяє повністю подавити розвиток мікрофлори, підвищити якість продукції, покращити умови праці, водночас аноліт є нетоксичним і безпечним у використанні. Крім цього, концентрація аноліту може підтримуватись на сталому рівні, оскільки мікроорганізми не можуть виробити резистентність до метастабільних активно діючих речовин у складі аноліту. Ця технологія була апробо-

вана у 1997-1998 роках [6], що показало її високу економічну та технологічну ефективність.

Використання електромембранної технології отримання активованого розчину, який додається у бурякову стружку та живильну воду дозволяє інтенсифікувати процес екстрагування сахарози, підвищити чистоту дифузійного соку та знизити мікробіологічну забрудненість як стружки, так і екстрагенту [12, 13]. Показано, що знезаражуючий ефект для мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів складає 94,32%, а для пліснявих грибів і дріжджів – 96,18%, що дозволяє відмовитися від використання хімічних дезінфектантів та підвищити екологічну безпеку бурякоцукрового виробництва.

Підґрунтя технології використання ЕХА розчинів для дезінфекції полягає у тому, що для нормальної життєдіяльності різноманітних мікроорганізмів важливе значення відіграє рН та окисно-відновний потенціал (ОВП) середовища, у якому вони перебувають. У [14] визначено область значень рН та ОВП, придатних для існування більшості мікроорганізмів. За межами цієї зони їх розмноження не відбувається. У нейтральному середовищі існування мікроорганізмів можливе у достатньо широкому діапазоні значень ОВП, однак при відносно незначному зсуві показника рН у лужну або кислотну сторону цей діапазон істотно зменшується. Зазначимо, що для кожного мікроорганізму існує свій оптимум значень рН та ОВП і свої критичні значення.

Однак, не лише зміна цих параметрів викликає біологічну активність ЕХА розчинів. Це лише перша можлива причина. Друга причина – утворення у розчинах нестійких метастабільних високоактивних частинок і сполук – іонів різного ступеня окислення, молекул і вільних радикалів. Це не змінює основних параметрів розчи-

ну, але може суттєво впливати на властивості розчинених іонів та молекул [15]. Наприклад, в [15] встановлено, що катод діє стимулююче на життєдіяльність мікроорганізмів, якщо при електролізі у розчині був NaCl, і не проявляє своєї дії при активації дистильованої води. З другого боку, в [16] на прикладі традесканції зеленої та ряски показано, що анод діє стимулююче, а анод на основі ЕХА розчину NaCl – навпаки. Механізм дії останнього зумовлений утворенням окисників у аноді, які руйнують мембрани клітин, що призводить до їх загибелі [15].

Дослідження люмінесценції ЕХА дистильованої води, проведене в [17], показало схожість змін характеру спектрів люмінесценції і катоді, і аноді. Тобто, метастабільні частинки і сполуки утворюються в обох камерах електролізера, що не дозволяє лише їх наявністю пояснювати різницю у біологічній активності аноді та катоді дистильованої води. Отже, потрібно враховувати третю причину біологічної дії ЕХА розчинів – формування у розчинах метастабільних структур води, які можуть виникати під дією електростатичного поля високої напруженості у межах подвійного електричного шару біля поверхні електродів.

Аналіз результатів досліджень води та водних розчинів, проведених на рентгенівських спектрометрах п'ятого покоління з квазі монохроматичним випромінюванням, низькочастотними чотирифотонними спектрометрами крила Релея, комбінаційним розсіюванням, ІЧ- та мікрохвильовим поглинанням, дозволив авторам [18-20] зробити висновок про існування двох структурних типів води – впорядкована за структурою льоду Іh та невпорядкована. Причому вклад останньої зменшується зі зниженням температури. У [20] така модель води пояснюється двома спіновими модифікація-

ми молекул H_2O – орто- і пара-спіновими ізомерами.

Якщо врахувати, що електричне поле сприяє розділенню орто- та пара-ізомерів [21], а підвищений вміст орто-води покращує репродуктивну функцію та сприяє зростанню маси клітин [22], то структурні перебудови у ЕХА розчинах також суттєво змінюватимуть їхню біологічну активність.

Отже, з проведеного аналізу біологічної дії ЕХА водних розчинів можна зробити висновок, що анод, отриманий з водного розчину NaCl є екологічно безпечним та активним дезінфектантом, що може бути успішно використаним на різних етапах цукроваріння. Однак для цього потрібно вирішити ряд конструктивних моментів та оптимізувати процес отримання такого аноді. Збільшення концентрації солі сприяє утворенню молекулярного хлору, що спричинює корозійну активність розчину при взаємодії з металами та полімерними матеріалами; зменшення концентрації – зменшує кількість оксидантів. Температура розчину впливає на структурні перетворення, час активації – на кількість метастабільних іонів та радикалів [7, 23].

Окремо постає **проблема очистки стічних вод цукрового виробництва**. З метою захисту навколишнього середовища сучасне законодавство висуває достатньо жорсткі вимоги до промислових стоків. Враховуючи значні обсяги виробництва, безперервний режим роботи цукрового заводу та високу забрудненість стоків, очисні споруди підприємства повинні відрізнитись великою пропускнуою здатністю, надійністю та ефективністю. Самостійно технологія ЕХА не може впоратись з усіма наявними у промислових стоках забрудненнями. Однак у поєднанні з іншими методами очистки стоків ЕХА дозволяє покращити мікробіологічні показники, знизити вміст

фосфатів, нітратів тощо. Дослідження, проведені Санкт-Петербурзькою Державною медичною академією [6] підтвердили ефективність використання аноді у якості дезінфектанту побутово-фекальних стічних вод на локальних очисних спорудах.

Висновки

Отже, ЕХА водні розчини можуть бути ефективно використані для вирішення цілого ряду актуальних проблем, які існують на цукровому виробництві. Такі рішення відзначатимуться високою екологічністю, низькою собівартістю обладнання та самих розчинів, простотою впровадження в існуючі виробничі ланцюжки. Наявний досвід підтверджує ефективність використання ЕХА води на різних етапах цукроваріння, однак для досягнення значних результатів необхідно оптимізувати технологію та зробити її універсальною, а цього можна досягнути лише за умови проведення ґрунтовних досліджень. ■

Список використаних джерел

1. Красняк О.П. Тенденції розвитку ринку цукру України: проблеми та перспективи [Текст] / О.П. Красняк // 36. наук. Праць ВНАУ. – 2011. – № 1. – С. 49–55.
2. Боляновська Д.С. Стан і проблеми ринку цукру в Україні [Текст] / Д.С. Боляновська, Є.І. Буряк, Р.О. Мамчин, О.В. Здрок // Вісник Нац. універ. «Львівська політехніка». Логістика. – 2010. – № 669. – С. 167–171.
3. Huang, Y.-R. Application of electrolyzed water in food industry [Text] / Y.-R. Huang, Y.-C. Hung, Sh.-Y. Hsu, Y.-W. Huang, D.-F. Hwang // Food Control. – 2008. – Vol. 19, № 4. – P. 329–345.
4. Бахур, В.М. Электрохимическая активация: ключ к экологически чистым технологиям водоподготовки [Текст] /

В.М. Бахир // Водоснабжение и канализация. – 2012. – № 1–2. С. 89–102.

5. *Плутахин, Г.А.* Практическое применение электрохимически активированных водных растворов [Текст] / Г.А. Плутахин, М. Аидер, А.Г. Кошцаев, Е.Н. Гнатко // Науч. журн. КубГАУ. – 2013. – № 92 (08). – С. 1–31.

6. *Бахир В.М.* Электрохимическая активация: универсальный инструмент зеленой химии [Текст] / Бахир В.М. [и др.]; под ред. В.М. Бахира. – М.: ВНИИИМТ, 2005. – 176 с.

7. *Прилуцкий В.И.* Анолиты на рынке дезсредств: не ошибитесь в выборе! [Текст] / В.И. Прилуцкий, В.И. Долгополов, Т.Б. Барабаш // Медицинский алфавит. Эпидемиология и гигиена. – 2013. – №3. – С. 52–61.

8. *Бугаенко И.Ф.* Общая технология отрасли. Научные основы технологии сахара / И.Ф. Бугаенко, В.И. Тужилкин. – СПб.: ГИОРД, 2007 – 512 с.

9. *Патент 2056723 RU, МПК7 А 01 F 25/00.* Способ хранения сахарной свеклы [Текст] / Влызько Л.И., Попов А.О., Бахир В.М., Задорожный Ю.Г., Барабаш Т.Б. – № 94030386/15; – заявл. 23.08.94; опубл. 27.03.96.

10. *Патент 2312562 RU, МПК7 А 23 L 003/00.* Способ обработки плодоовощной продукции и устройство для его осуществления [Текст] / Филиппов А.К., Федоров М.А., Филиппов Д.А., Филиппов Р.А. – № 2006103152/13; – заявл. 06.02.06; опубл. 06.02.06.

11. *Патент 2083670 RU, МПК6 С 13 D 1/08.* Способ по-

лучения диффузионного сока [Текст] / Влызько Л.И., Попов А.О., Бахир В.М., Задорожный Ю.Г., Барабаш Т.Б. – № 94030910/13; – заявл. 23.08.94; опубл. 10.07.97.

12. *Сидорченко, О.І.* Вплив електромембранної обробки на мікробіологічну забрудненість дифузійного соку [Текст] / О.І. Сидорченко, Т.М. Захарченко // Цукор України. – 2012. – № 3 (75). – С. 11–13.

13. *Сидорченко О.І.* Вплив електромембранної активації водних розчинів на фізико-хімічні властивості екстрагенту для вилучення цукрози [Текст] / О.І. Сидорченко, Т.М. Захарченко // Цукор України. – 2012. – № 1 (73). – С. 31–34.

14. *Леонов Б.И.* Физико-химические аспекты биологического действия электрохимически активированной воды [Текст] / Леонов Б.И., Прилуцкий В.И., Бахир В.М. – М.: ВНИИИМТ, 1999 – 244 с.

15. *Мирошников А.И.* Исследование причин биологического действия электрохимически активированных растворов по изменению роста клеток Escheria Coli [Текст] / А.И. Мирошников // Биофизика. – 2004. – Т. 49, № 5. – С. 866–871.

16. *Петрушанко И.Ю.* Неравновесное состояние электрохимически активированной воды и её биологическая активность [Текст] / И.Ю. Петрушанко, В.И. Лобышев // Биофизика. – 2001. – Т. 46, вып.3. – С. 389–401.

17. *Бордун І.М.* Вплив розчинених газів на люмінесценцію води [Текст] / І.М. Бордун, В.В.

Пташник // Вісник Нац. універ. «Львівська політехніка». Електроніка. – 2013. – № 764. – С. 149–157.

18. *Кластерная структура воды (обзор)* [Электронный ресурс] / С. Д. Захаров, И.В. Мосягина // Науч.-инф. Журнал ЭЛЛФИ. – 2011. – № 11. – С. 1–24. // – Режим доступа: http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/35_11_pr.pdf (01.01.14). – Назва з екрану.

19. *Nilsson A.* Perspective on the structure of liquid water [Text] / A. Nilsson, L.G. M. Pettersson // Chemical Physics. – 2011. – V. 389, № 1 – P. 1–34.

20. *Физическая основа аномальных свойств воды – квантовые отличия орто и пара спиновых изомеров H₂O* [Электронный ресурс] / С. М. Першин // – Режим доступа: <http://www.biophys.ru/archive/h2o-00029.pdf> (01.01.14). – Назва з екрану.

21. *Ortho and para molecules of water in electric field* [Electronic resource] / S. N. Andreev, V. P. Makarov, V. I. Tikhonov, A. A. Volkov // – Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/physics/0703038.pdf> (01.01.14). – Назва з екрану.

22. *Pershin S. M.* Spin-selective interaction of magnetic ortho-H₂O isomers with yeast cells [Text] / S.M. Pershin, E. Sh. Ismailov, Z. G. Suleimanova, Z. N. Abdulmagomedova, D. Z. Zagirova // Phus. Wave Phenom. – 2012. – V. 20, № 3. – P. 223–230.

23. *Hsu S.Y.* Effects of water flow rate, salt concentration and water temperature on efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator [Text] / S.Y. Hsu // J. Food Engineering. – 2003. – V. 60, № 4 – P. 469–473.

ЦІКАВІ НОВИНИ

Колекція з 12 тисяч пакетиків цукру

Глюкофіли - люди, які збирають цукор. Точніше їх цікавить те, у що він упакований. Армія фанатів незвичайного захоплення зростає з кожним днем.

Цукрові рейди Марія з Санкт-Петербургу проводить ось уже 5 років. Зараз в її багажі десятки зустрічей з глюкофілами, так називають колекціонерів цукру, і порядку 12 тисяч пакетиків, пірамідок, кубиків.