

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

УДК 641/642:613:579.8

Ощипок І. М.,
him1960@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-5427-3376,
Researcher ID F-4641-2019,
д.т.н., проф., завідувач кафедри харчових технологій,
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

Ощипок О. І.,
orestbiz7@gmail.com,
магістр,
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

Туриця М. Ю.,
maksrt1@gmail.com,
магістр,
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

СТРАТЕГІЯ БЕЗПЕЧНОСТІ В ІНДУСТРІЇ ХАРЧУВАННЯ

Анотація. Розглянуто розробку та застосування сучасних антибактеріальних і дезінфікуючих засобів. Показано, що підвищення безпеки їжі є актуальним у всьому світі. Однією з ключових причин захворювань є мікробна контамінація продуктів. Вказано на необхідність створення нових ефективних засобів знезараження широкого спектра дії, які не завдають шкоди довкіллю. Відзначено, що для збереження матеріалів та виробів, що контактують із харчовими продуктами, у Європейському Союзі є низка обов'язкових норм, закріплених у правових актах. Розглянуті різні дієві аспекти забезпечення безпеки технологічних процесів харчових виробництв та громадського харчування, принципи встановлення і застосування мікробіологічних критеріїв для харчових продуктів. У системі засобів боротьби з інфекціями та їх неспецифічної профілактики провідне місце займає дезінфекція, яка орієнтована на припинення передачі збудників інфекційних захворювань методом знищення або вилучення патогенних та умовно патогенних мікроорганізмів із навколишнього середовища. Наведено аналіз хімічних речовин, що застосовуються в дезінфекційній практиці, вимоги до застосування нових дезінфікуючих хімічних речовин. Рекомендовано новий дезінфікуючий і миючий продукт «Дезолон», описані його основні характеристики. Проаналізовано дезінфікуючі засоби, головними діючими речовинами яких є спирти, четвертинні амонієві сполуки, феноли, хлорактивні і йодактивні сполуки, оцтова кислота, формальдегід, полігексаметиленгуанідин гідрохлорид (гуадин). Показана технологія отримання та застосування електрохімічно активованих розчинів (ЕХАР) для забезпечення безпеки харчової продукції і харчового виробництва. Аноліт ефективно дезінфікує патогенні мікроорганізми на обробних дошках та знищує *Enterobacter aerogenes* та *S. aureus* на різних поверхнях обладнання, не викликаючи пошкодження нержавіючої сталі. Дослідження механізмів впливу метастабільних ЕХАР на різні харчові та водні системи дозволить розробити нові підходи до забезпечення якості, біологічної безпеки та підвищення ефективності виробництва споживчих товарів.

Ключові слова: харчові продукти, контамінація, дезінфекція, електрохімічно активовані розчини, системи, біологічна безпека.

Oshchypok I. M.,

him1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5427-3376,

Researcher ID F-4641-2019,

Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Food Technologies,

Lviv University of Trade and Economics, Lviv

Oshchypok O. I.,

orestbiz7@gmail.com,

Master's degree student,

Lviv University of Trade and Economics, Lviv

Turytsia M. Y.,

maksrt1@gmail.com,

Master's degree student,

Lviv University of Trade and Economics, Lviv

SAFETY STRATEGY IN THE FOOD INDUSTRY

Abstract. *The development and use of modern antibacterial and disinfectant agents are considered. It is shown that improving food safety is relevant all over the world. One of the key causes of disease is microbial contamination of products. It is pointed out the need to create new effective means of disinfection of a wide range of action that do not harm the environment. It was noted that for the preservation of materials and products in contact with food products, the European Union has a number of mandatory norms determined in legal acts. Various effective aspects of ensuring the safety of technological processes of food production and catering, the principles of determining and applying microbiological criteria for food products are considered. In the system of means of fighting infections and their non-specific prevention, the leading place is occupied by disinfection, which is aimed at stopping the transmission of infectious disease agents by destroying or removing pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms from the environment. The analysis of chemicals used in disinfection practice, the requirements for the use of new disinfectant chemicals, is presented. The new disinfectant and detergent product "Desolon" is recommended, its main characteristics are revealed. Disinfectants, the main active substances of which are alcohols, quaternary ammonium compounds, phenols, chloractive and iodide compounds, acetic acid, formaldehyde, polyhexamethyleneguanidine hydrochloride (guadine), were analyzed. The technology of obtaining and using electrochemically activated solutions (ECAS) to ensure the safety of food products and food production. Anolyte effectively disinfects pathogenic microorganisms on cutting boards and destroys *Enterobacter aerogenes* and *S. aureus* on various equipment surfaces without causing damage to stainless steel. The study of the mechanisms of the impact of metastable ECAS on various food and water systems will allow to develop new approaches to ensure quality, biological safety and increase the efficiency of the production of consumer goods.*

Key words: food products, contamination, disinfection, electrochemically activated solutions, systems, biological safety.

JEL Classification: L23, L53, L66, M14, O14

DOI: 10.36477/2522-1221-2023-33-11

Постановка проблеми. Серед пріоритетних напрямів у стратегії розвитку науково-технологічної діяльності України зазначимо важливість фундаментальних досліджень, зумовлених внутрішньою логікою розвитку науки, що забезпечує готовність країни до великих викликів, які ще не виявлялися і не отримали широкого суспільного визнання, можливості своєчасної оцінки ризиків, зумовлених науково-технологічним розвитком.

Забезпечення безпеки та якості продукції є важливими елементами охорони здоров'я спо-

живачів будь-якої держави. Причиною розробки та застосування ефективного законодавчого регулювання безпеки та якості вироблених і імпортованих у ЄС харчових продуктів були серйозні інциденти, пов'язані з безпекою харчових продуктів у 90-х роках минулого століття. Саме факти потрапляння на ринок ЄС і кінцевих споживачів небезпечних для здоров'я харчових продуктів спонукали Європейський Союз та інші країни світу переглянути свої системи контролю безпеки продуктів харчування і шукати кращі спо-

соби охорони споживачів. І тепер законодавче регулювання безпеки та якості харчових продуктів у країнах-членах Європейського Союзу визнано одним із кращих і ефективних у світі. Світова продовольча і сільськогосподарська організація ООН (ФАО) разом із Всесвітньою організацією охорони здоров'я ще 1963 року створила Комісію Кодекс Аліментаріус як запасний орган із запровадження стандартів на продукти харчування. У межах цієї ініціативи були винайдені та поширені система аналізу ризиків на виробництві НАССР та інтегрований підхід до мережі підприємств виготовлення харчової продукції, що забезпечує збереження кінцевого споживача. Напрацювання Комісії Кодекс Аліментаріус були включені як загальні принципи в законодавство ЄС. У 2000 році Європейським Союзом була розроблена Біла книга безпеки харчових продуктів, що містить теорію формування законної бази виготовлення продуктів харчування і контролю за їх збереженням.

Головну роль в екологічних процесах відіграють мікроорганізми, беручи участь у передачі енергії та речовини в харчових ланцюжках та в біогеохімічних циклах багатьох елементів. Антропогенні дії та застосування антибіотиків (АБ) у медицині та сільському господарстві «форсували» еволюцію бактерій і призвели до появи серед традиційних контамінантів продовольчої сировини штамів, резистентних до АБ, із додатковими факторами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широке поширення у світі стійкості бактерій до АБ є головною причиною ренесансу інфекційних захворювань, тому нагальною потребою стали розробка та застосування антибактеріальних програм. Стійкість до антибіотиків підтримується фільтруючою здатністю полімерного

матриксу, який заповнює міжклітинні простори і зв'язує клітини в єдину структуру. Ця властивість дозволяє уповільнити дифузію антибактеріальних речовин усередину біоплівки (рис. 1) [3; 7; 9]. Сучасні можливості використання нових дезінфікуючих засобів розглядали Кузьмінська О. В., Фенін В. П.

До найбільш безпечних та екологічних технологій можна віднести процеси обробки, базовані на зовнішніх електрофізичних впливах [4; 5; 6]. Прикладом служить технологія отримання екологічно чистого, високоефективного розчину, який спричиняє шкідливий вплив на макроорганізми (людини, тварин, рослин). Таким розчином є розчин хлоркисневих та гідропероксидних оксидантів у воді [2], який має антимікробну активність проти всіх видів і форм мікроорганізмів, не викликає адаптаційних реакцій мікроорганізмів, нешкідливий для багатоклітинних організмів і при деградації перетворюється на звичайну прісну питну воду [1; 4; 5; 6].

Технологія електрохімічної активації (ЕХА) замінює громіздкі хімічні виробництва та комплекси обладнання [2].

Отримання та застосування метастабільних білкових речовин замість традиційних реагентів звичного хімічного складу дозволяє знизити витрату реагентів або виключити їх. Перевагою технології ЕХА є отримання незаражувального розчину на місці споживання у необхідній кількості. Для отримання незаражувального розчину потрібні лише вода (СанПін 2.1.4.1-74-01), сіль харчова кухонна 1-го сорту нейодована або сіль марки «Екстра», електроживлення (50 Гц та 220 В). Розчин, що виробляється установками, відноситься до 4 класу малонебезпечних речовин (ГОСТ 12.1.007-76).

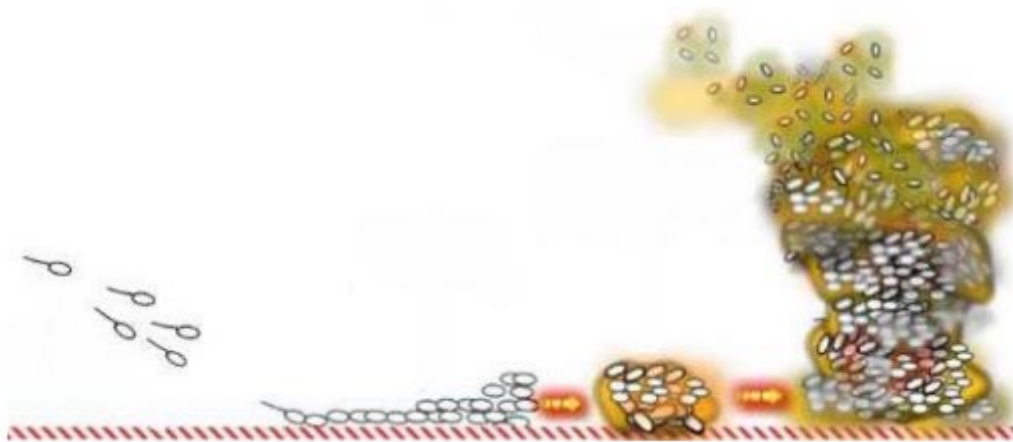


Рис. 1. Модель бактеріальної біоплівки [8]

Правові акти Європейського Союзу щодо збереження матеріалів і виробів, що контактують із харчовими продуктами

1	Регламент ЄС №1935/2004 щодо матеріалів та виробів, які контактують з харчовими продуктами
2	Регламент Комісії ЄС №2023/2006 від 22 грудня 2006 р. щодо відповідної виробничої практики для матеріалів та виробів, які контактують з харчовими продуктами
3	Регламент ЄС № 10/2011 щодо застосування пластмаси
4	Директива №84/500/ ЄС із застосування кераміки
5	Директива 2007/42 щодо застосування реконструйованої целюлози
6	Регламент ЄС №282/2008 щодо застосування переробленої пластмаси
7	Регламент ЄС №450/2009 щодо функціональних та «розумних» матеріалів, що контактують з харчовими продуктами
8	Регламент ЄС №10/2011 щодо вінілхлоридмономерів
9	Регламент № 93/11/ ЄС щодо вивільнення нітрозамінів
10	Регламент № 1895/2005/ЄС щодо використання певних епоксидних похідних тощо

Підвищення безпеки їжі є актуальним у всьому світі. Одна з ключових причин захворювань – мікробна контамінація продуктів [8; 9].

Постановка завдання. У зв'язку з викладеним актуальним завданням є створення нових ефективних засобів знезараження широкого спектра дії, що не завдають шкоди довкіллю. Важливим є пошук методів, спрямованих на забезпечення біологічної безпеки харчової промисловості та громадського харчування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Щодо збереження матеріалів та виробів, що контактують із харчовими продуктами, у Європейському Союзі є низка обов'язкових норм, закріплених у наступних правових актах (табл. 1).

Правова база, що працює в Європейському Союзі, досить широка і може бути адаптована до технологій, що дуже швидко розвиваються, з урахуванням розгорнутих вимог до різних видів матеріалів, упаковки і матеріалу для них.

Розглянемо різні дієві аспекти забезпечення безпечності технологічних процесів харчових виробництв та громадського харчування (рис. 2).

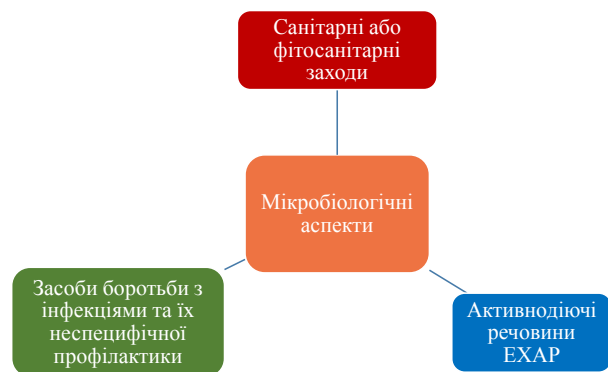


Рис. 2. Аспекти забезпечення безпечності технологічних процесів харчових виробництв та громадського харчування

Мікробіологічні аспекти. Деякі мікроорганізми потрапляють у харчовий ланцюг природ-

Охорони життя або здоров'я від ризиків, що виникають внаслідок проникнення, укорінення або розповсюдження шкідливих організмів, захворювань, організмів, які є носіями захворювань, в тому числі хвороботворних організмів

- Охорони життя чи здоров'я людей та/або тварин від ризиків, що виникають від добавок, забруднюючих речовин, токсинів чи хвороботворних організмів, які містяться у харчових продуктах
- Охорони життя або здоров'я людини від ризиків, що виникають внаслідок захворювань, що переносяться тваринами, рослинами або продукцією, що виробляється з них, або внаслідок проникнення, укорінення або поширення шкідливих організмів
- Уникнення або обмеження іншої шкоди, що заподіяна внаслідок проникнення, укорінення або поширення шкідливих організмів

Рис. 3. Мета проведення санітарних чи фітосанітарних заходів

ним шляхом разом із забрудненою сировиною, інші можуть забруднити харчові продукти на будь-якому з етапів харчового ланцюга. Мікроорганізми в окремих харчових продуктах – це бактерії, віруси, дріжджі, гриби, прості паразити, гельмінти та їх токсини (метаболіти). Лабораторна оцінка мікробіологічних критеріїв є інструментом, широко використовуваним з метою оцінки безпечності, а також якості харчових продуктів. Принципи впровадження мікробіологічних критеріїв харчових продуктів визначено стандартом Codex SAC/GL 21-1997 «Принципи встановлення і застосування мікробіологічних критеріїв харчових продуктів». Дотримуючись цього стандарту, країни визначають запити і ставлять допуски щодо мікроорганізмів у харчових продуктах.

Санітарний або фітосанітарний захід – це будь-який захід, який проводиться з метою (рис. 3):

Санітарні та фітосанітарні заходи вживаються як на рівні одиничного виробника або іншого оператора ринку, громадянських організацій, які опікують стандартизацію, сертифікацію та оцінку відповідності, так і на рівні країни. Вимоги, що висуваються державою, повинні бути враховані у діяльності та документах недержавних організацій стандартизації, сертифікації, оцінки відповідності (стандартах, методичних настановах, технічних умовах тощо). До санітарних або фітосанітарних заходів, які виконує уряд, зокрема, включаються всі нормативно-правові акти, що стосуються питань постачання і безпеки харчових товарів, виробничих процесів та методик виготовлення, процедур випробувань, інспекції та прийняття, розташування порівняно відповідних статистичних способів, процедур відбору зразків та методів аналізу ризику, вимоги до упаковки і маркування, що безпосередньо стосуються безпеки харчових продуктів.

У системі засобів боротьби з інфекціями та їх неспецифічної профілактики провідне місце займає дезінфекція, яка орієнтована на припинення передачі збудників інфекційних захворювань методом знищення або вилучення патогенних та умовно патогенних мікроорганізмів із навколишнього середовища. Серед основних методів дезінфекції (машинний, фізичний, хімічний, біологічний) саме хіміч-

ний знайшов широке використання в практиці. Так, речовини зазначеної групи найчастіше застосовують у зв'язку з їх доступністю, простотою застосування, широким вибором. Ці хімічні засоби використовують у вигляді емульсій, суспензій, паст, порошків, аерозолів тощо, але найчастіше лише у вигляді водних розчинів. Широке використання їх обумовлено тим, що дрібні крапельки води, що містять дезінфікуючі засоби, легко і швидко адсорбуються оболонкою мікробної клітини. Крім того, дезінфікуючі засоби швидше отримують доступ до мікробної клітини через водну фазу, завдяки чому активніше діють на клітину. Так, всі хімічні речовини, що застосовуються в дезінфекційній практиці, поділяють на кілька груп:

- 1 – хлорвмісні засоби (хлорне вапно, хлораміни, гексахлор тощо);
- 2 – йод, бром та їхні сполуки (йодонат, дибромантин тощо);
- 3 – феноли, крезоли та їхні сполуки (лізол, фенол тощо);
- 4 – окислювачі (перекис водню, надцтова кислота тощо);
- 5 – луги (ідкий натр, кальцинована сода тощо);
- 6 – спирти (етиловий, ізопропіловий тощо);
- 7 – четвертинноамонієві сполуки (дегмін, нірган тощо);
- 8 – гуаніди (хлоргексидин, октенідин тощо);
- 9 – альдегіди (глутаровий альдегід тощо);
- 10 – третинні аміни (аміріль, триацид тощо).

Проте тривале використання того ж самого хімічного препарату призводить до появи стійких форм мікроорганізмів, що вимагає застосування нових дезінфікуючих хімічних речовин, які б відповідали певним вимогам (рис. 4).

Не мати різкого запаху, особливо при використанні на підприємствах харчової промисловості (на молокозаводах, м'ясокомбінатах, оскільки м'ясо й молоко легко його адсорбують) тощо;
Мати високу мікробіологічну ефективність, широку антимікробну дію

Мати високий ступінь стійкості до органічного навантаження (наприклад, за наявності таких речовин, як залишки їжі тощо);

Бути доступними і дешевими у виробництві, зручними для транспортування та достатньо стійкими при зберіганні

Швидко і повністю розчиняються у воді або добре змішуватись з нею, утворюючи стійкі емульсії

Бути безпечними при застосуванні для персоналу;
Діяти швидко і у малих концентраціях

Не бути вибухонебезпечними та легкозаймистими

Бути нескладними при приготуванні робочих розчинів, їх використанні, видаленні

Діяти швидко і у малих концентраціях

Рис. 4. вимоги до застосування нових дезінфікуючих хімічних речовин

Крім того, сучасні хімічні методи засновані на використанні хімічних речовин у поєднанні їх із миючими засобами, що значно підвищує їхню дію.

До дезінфікуючих і миючих засобів можна віднести і новий продукт «Дезолон», основні характеристики якого представлені нижче. Препарати з урахуванням третинних амінів (амфотензидів), до яких і належить «Дезолон», – це новий тип дезінфектантів, інтерес яких обумовлений насамперед їхньою високою мікробіологічною надійністю (функціональні щодо бактерій, у т. ч. мікобактерій, а також грибів, вірусів), низькою токсичністю (відсутністю канцерогенного, тератогенного, ембріотоксичного впливу тощо), непоганими миючими якостями. Порівнювали характеристики препарату на основі третинного аміну «Дезолон» із активними діючими речовинами основних засобів, що дезінфікують. Це дало можливість представити критерії оцінки основних дезінфікуючих засобів, у тому числі і «Дезолону», для знезараження поверхонь. Також разом із фахівцями Інституту епідеміології та інфекційних захворювань імені Л. В. Громашевського АМН України, Центральної санітарно-епідеміологічної станції МОЗ України було досліджено токсичність і безпеку «Дезолону» при його використанні для дезінфекції та передстерилізаційної очистки. Визначено призначення, сферу та метод впровадження, запобіжні заходи безпеки, умови транспортування та зберігання цього препарату. Виявлено основні переваги «Дезолону» порівняно з іншими дезінфікуючими та миючими засобами.

При зіставленні даних деззасобів виявлено їх певні переваги та недоліки. Наприклад, дезінфікуючі засоби, головними діючими речовинами яких є спирти (етиловий, ізопропіловий), ефективні проти вегетативних мікроорганізмів, грибів, мікобактерій, але вони не діють на спори. Крім того, ізопропанол неактивний ще й проти деяких дрібних ліпофільних вірусів. Проте позитивним є те, що ці засоби швидко діють. Але задля досягнення високого рівня антимікробної дії цим препаратам необхідний вологий контакт протягом 5 хвилин. Також ці засоби: швидко спалахують; не дають миючої дії; псують поверхні з лаку, шкіри тощо; інактивуються органічними речовинами; мають всі шанси просушувати та активізувати подразнення шкіри.

Що стосується четвертинних амонієвих сполук, то активність їх має місце по відношенню до грампозитивних і деяких грамнегативних вегетативних мікробів, грибів, ліпофільних вірусів. Вони мають детергентну (мийну) активність,

та їх недоліки полягають у тому, що ці сполуки слабо діють на збудник туберкульозу, гідрофільні віруси. Не діють вони також і на спори, неефективні у присутності органічних матеріалів; просто абсорбуються і нейтралізуються багатьма матеріалами (бавовною, шерстю); несумісні з милом; псують лакові, шкіряні та інші поверхні.

Феноли – це сполуки, які виявляють активність проти широкого діапазону мікроорганізмів. Однак мають такі недоліки: залишають плівку на поверхнях, що піддаються дезінфекції; можуть сушити і викликати подразнення і депігментацію шкіри; інактивуються органічними матеріалами; роз’їдають гуму та деякі пластмаси; потребують контакту з поверхнею протягом не менше 10 хвилин.

Хлорактивні сполуки ефективні проти мікробів (зокрема, мікобактерій), грибів, вірусів. Вони мають високу активність, достатню швидкість дії; низьку ціну, але викликають корозію металів; труднощі при поєднанні з детергентами, інактивуються органічними сполуками, мають всі можливості відбілювати тканини; мають ймовірну канцерогенність при контакті з формальдегідом. Розчини хлорактивних препаратів нестабільні, але у стічних водах вони не розпадаються, а утворюють стійкі галогенорганічні сполуки, досить небезпечні (володіють канцерогенними, мутагенними, тератогенними властивостями).

Йодактивні сполуки ефективні проти бактерій, але мають слабку активність до вірусів, грибів і дріжджів. Вони швидко діють; нетоксичні; виявляють потужну детергентну дію. Їх недоліками є те, що вони: викликають корозію металів; погіршують якість гуми та деяких пластмас; можуть викликати опіки тканин; інактивуються органічними речовинами; залишають плями; не мають спорадичної активності. Така дезінфікуюча сполука, як перекис водню, має широкий спектр активності проти мікроорганізмів (включаючи спори). Крім того, перекис водню не втрачає своєї активності в стані органічних забруднень. Ця речовина не має запаху, аромату, нетоксична; вона безпечна для довкілля; просто видалається з поверхні. Але при потрапленні в очі може викликати опіки; має знебарвлюючий ефект і несумісна з такими металами, як латунь, цинк, мідь, нікель, срібло. Крім того, може створювати негативний ефект на властивості матеріалів ендоскопів; вимагає спеціальних умов збереження.

Оцтова кислота як деззасіб має також широкий спектр активності проти мікроорганізмів, включаючи і спори. Вона швидко діє у низьких концен-

траціях і за низьких температур; володіє високою ефективністю у присутності органічних матеріалів; не вимагає активації; сумісна з багатьма іншими дезінфектантами. Але ця сполука є дорогим деззасобом; може створювати негативний ефект на властивість деяких матеріалів; мати токсичний вплив, а її концентрат може викликати опіки шкіри і слизових оболонок. Широкий діапазон активності проти мікроорганізмів (у т. ч. спор) має і глутаровий альдегід. Ця сполука не пошкоджує вироби з гуми, металів, ефективна у присутності органічних матеріалів; використовується для оптичних приладів. Однак до недоліків цього дезінфектанта можна віднести його мінливість, високу ціну, необхідність активації. Крім того, глутаровий альдегід: може викликати опіки шкіри та слизових; фіксує білкові забруднення, має гострий аромат і надає миючої дії.

Формальдегід – це дезінфікуюча речовина широкого спектра дії (ефективна проти мікроорганізмів, у т.ч. і спор). Не вимагає активації. Але ця сполука має потенційно канцерогенну дію (потрібно дотримуватися обмеження прямого контакту); подразнюючий вплив.

До деззасобів відноситься і полігексаметиленгуанідин гідрохлорид (гуадин), що має широкий спектр активності. В нього немає різкого запаху; характеризується низькою токсичністю щодо шкірних покривів, очей. Однак у нього відсутня мийна дієздатність; його активність зменшується за наявності органічних сполук; він псує лаковані поверхні, а з хлором утворює нерозчинну жовту плівку. Що стосується деззасобів на базі третинних амінів, до яких відноситься і «Дезолон», то ці препарати мають широкий спектр активності проти мікроорганізмів (грампозитивних, грамнегативних, у т. ч. збудника туберкульозу, вірусів (гепатити, ВІЛ, полівіруси і т.п.), грибів, спор. Вони малотоксичні і стабільні.

Технологія отримання та застосування електрохімічно активованих розчинів (ЕХАР) для забезпечення безпечності харчової продукції. Активуючі речовини ЕХАР – суміш оксидантів, еквівалентна за складом тій, що утворюється в організмах живих істот при фагоцитозі (Знищення сторонніх субстанцій фагоцитами). При деградації розчин оксидантів останнього покоління перетворюється на прісну воду із загальною мінералізацією менше одного грама в літрі. Активні речовини розчину не накопичуються в зовнішньому середовищі, не створюють плівок на поверхнях, не вимагають змивання та дезактивації після застосування.

ЕХА – спосіб безреагентного керування фізико-хімічними параметрами води та водних розчинів, що є ефективним інструментом зеленої хімії. Метастабільний (активований) стан речовин, що досягається в ході ЕХА, характеризується підвищеною реакційною здатністю протягом певного часу.

Процес ЕХА протікає при електрохімічному впливі на речовину в зоні поляризованого електроду електрохімічної системи, коли за малий час через воду проходить електричний струм великої густини при високій перенапрузі. В результаті утворюється ЕХА фракції води аноліт біля аноду і католіт біля катода, які володіють змінними кислотно-основними і окислювально-відновними властивостями. Активація речовини полягає в ефекті тривалого збереження енергії збудженого стану речовини при термодинамічно рівноважних значеннях температури та тиску, а також у ефекті трансформації цієї енергії в ході хімічних реакцій за участю активованих речовин.

Експериментами з дослідження рН та окисно-відновного потенціалу (ОВП) дистильованої води, підданої електрохімічному впливу біля поверхні анода і катода електрохімічної системи, які проводяться протягом багатьох років [Бахір, 1981-2016], встановлено, що рН та ОВП аноліту та католіту дистильованої води набувають аномальні значення в порівнянні зі значеннями, які розраховані на основі законів електролізу, а також значеннями, отриманими моделюванням кислотно-лужних властивостей аноліту і католіту шляхом введення у вихідну дистильовану воду кислоти та лугу.

На рис. 5 наведено результати експериментів із дослідження параметрів ЕХА дистильованої води. Невелика кількість стабільних продуктів електролізу в дистильованій воді дозволяє досліджувати релаксаційні процеси без їх заважаючого впливу, але вимагає особливих умов електрохімічного впливу, що забезпечують зіткнення можливо більшої кількості мікрооб'ємів потоку води з поверхнею електрода і відсутністю надходження в оброблювану воду продуктів електрохімічних реакцій із камери протиелектроду за рахунок електроміграції. Збільшення концентрації йонів електролітів у вихідній воді від кількох десятків до кількох сотень міліграмів у літрі багато разів посилює «активаційну» складову реакційної здатності аноліту і католіту за рахунок варіації коефіцієнта активності в межах, близьких до одиниці, відповідно посилюючи технологічне значення активованої води.

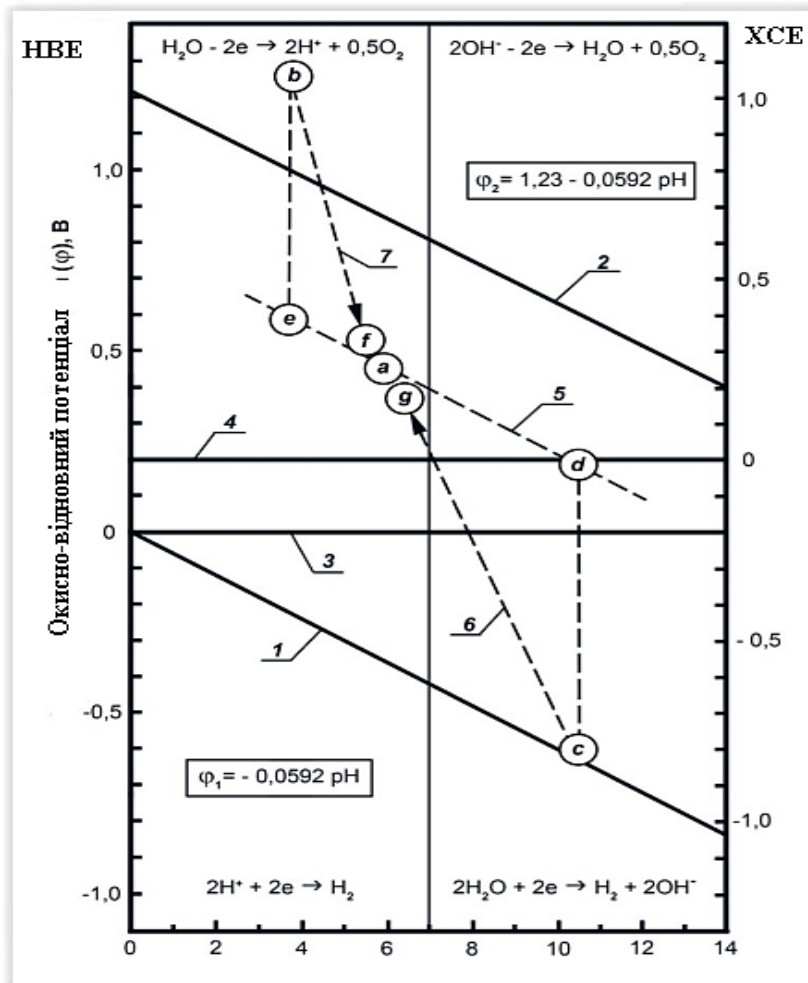


Рис. 5. Співвідношення рН та ОВП при електрохімічному та хімічному регулюванні параметрів дистильованої води,

де 1 та 2 – потенціали відновлення води на інертному катоді ($\varphi_1 = -0,0592$ рН) та окислення на інертному аноді ($\varphi_2 = 1,23 - 0,0592$ рН) відповідно; 3 і 4 – нульові лінії шкал водного (НВЕ) та хлорсрібного (ХСЕ) електродів порівняння; 5 – напрямок зміни рН та ОВП при хімічному регулюванні параметрів води; а – вихідні значення параметрів дистильованої води; b та с – параметри анолізу та католізу відповідно; d та e – параметри хімічних моделей католізу та анолізу відповідно; f і g – параметри анолізу та католізу після закінчення релаксації відповідно [2]

Показано, що електрохімічна нерівноважна дія здатна в десятки разів змінювати реакційну здатність (активність) йонів у розчинах без зміни їхньої концентрації. Значення ж ОВП виходять за межі можливостей хімічного моделювання при даній електропровідності і тому є унікальними.

Аналізуючи ці результати, що демонструють тривалий час аномально високу і аномально низьку активність електронів у воді, що стикаються з поверхнею катода або анода, можна припустити, що і в даному випадку справедливим є принцип Ле-Шательє, відповідно до якого в процесі електрохімічного впливу приелектродне середовище протидіє фізико-хімічним трансформаціям, але, коли вони завершені, зберігає

досягнутий метастабільний стан тривалий час, протидіючи переходу в стан термодинамічної рівноваги з навколишнім середовищем.

На рис. 6 зображено процес отримання в спеціальному елементі з керамічною діафрагмою концентрованого (до 30 %) розчину хлорноватистої кислоти. При цьому в даному елементі керамічна ультрафільтраційна діафрагма перетворюється на аніоноактивну при зміні напрямку градієнта поля тиску на протилежний: від катода до анода.

Керамічна неактивна діафрагма з розмірами пор від 0,01 до 0,1 мкм перетворюється на аніоноактивну мембрану під дією суперпозиції поля тиску (від катода до анода) та електричного поля. Процес забезпечує утворення з розчину хлориду

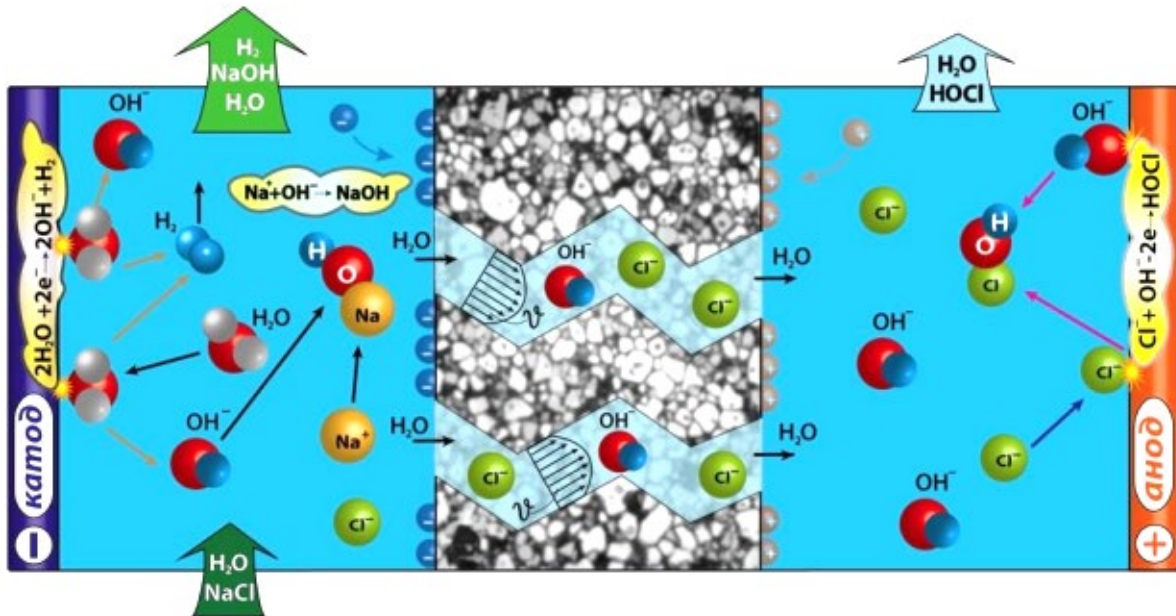


Рис. 6. Процес одержання в спеціальному елементі з керамічною діафрагмою концентрованої розчину хлорноватистої кислоти [2]

натрію розчину каустичної соди, водню та хлорноватистої кислоти з концентрацією до 30%.

Слід зазначити, що швидкість масопереносу (електроміграція плюс фільтрація) у тисячі разів перевищує швидкість дифузійного переміщення йонів у полімерній мембрані.

Практичне використання цього процесу дозволяє принциповим чином вирішити проблему знезараження питної води, стічних вод, за зміною хлору та розчину гіпохлориту натрію (реагує з водою з утворенням неактивного гіпохлориту йону, містить баластові речовини – сіль та гідроксид натрію) на водний розчин лише хлорноватистої кислоти. Введення розчину хлорної кислоти в лінію подачі водопровідної води в кількості, що регламентується санітарно-гігієнічними нормативами по залишковому хлору, дозволяє забезпечити відсутність біоплівки на внутрішніх поверхнях водорозвідних ліній після зворотньоосмотичних фільтрів, що недосяжно при стандартній системі водозабезпечення.

В електрохімічних спеціальних елементах використовуються керамічні діафрагми, які не бояться ні органічних домішок, ні йонів багатовалентних металів у вихідному розчині, ні перепадів тиску, ні змін хімічного складу та концентрації вихідних розчинів, ні багаторазового висихання та зволоження. Саме ці особливості відрізняють їх від мембранних електролізерів і тому вони називаються електрохімічними реакторами. Що стосується найважливішої харак-

теристики мембран – йонселективної провідності, то завдяки йонселективному електролізу з діафрагмою [2] керамічна ультрафільтраційна діафрагма набуває властивостей ефективної йонселективної перегородки при роботі в електричному полі в суперпозиції з полем фільтрації, що задається перепадом тиску.

Мікрофлора не здатна виробити звикання до ЕХАР через метастабільності діючих речовин [2].

Реакції та продукти окислення на аноді, що супроводжують процес отримання антимікробного ЕХАР (аноліту) суміші оксидантів в електрохімічному реакторі, аналогічні реакціям, що відбуваються в живій клітині макроорганізму при фагоцитозі.

Суміш метастабільних активнодіючих речовин (АДР) анолітної фракції ЕХАР забезпечує відсутність адаптації мікроорганізмів до мікробоцидної дії розчину.

У процесі електрохімічної обробки водних розчинів на катодері реактора протікають також супутні реакції за участю продуктів відновлення (католіт), що володіють високою біологічною активністю через низький ОВП.

Антимікробні ЕХАР отримують електролізом розчину хлориду натрію, при якому біля аноду утворюється фракція ЕХАР – аноліт, що містить газоподібні кисень і хлор, йон гіпохлориту, а біля катода в процесі відновлення – католіт, що містить газоподібний водень і гідроксид натрію [2].

Відомо, що у харчовому виробництві аноліт ефективно дезінфікує патогенні мікроорганізми на обробних дошках та знищує *Enterobacter aerogenes* та *S. aureus* на різних поверхнях обладнання, не викликаючи пошкодження нержавіючої сталі, що широко застосовується.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Мікробіологічний статус сировини, компонентів та кінцевих продуктів визначається на базі мікробіологічних критеріїв, пов'язаних із відсутністю або наявністю мікроорганізмів, у тому числі паразитів, кількості їх токсинів (метаболітів) в одиниці маси, об'єму чи партії. Безпечні харчові продукти не повинні містити мікроорганізми, паразитів та їх токсини або метаболіти в кількостях, що представляють загрозу для здоров'я людини.

Стратегія науково-технологічного розвитку України передбачає перехід до високопродуктивних та екологічно чистих виробництв, розробки та впровадження систем раціонального застосування засобів хімічного та біологічного захисту сільськогосподарських рослин і тварин, зберігання та ефективною переробки сільськогосподарської продукції, створення безпечних та якісних, у тому числі функціональних, продуктів харчування.

Технологія ЕХА, виступаючи науково-технічним напрямом, що інтенсивно розвивається, повністю відповідає зазначеним вимогам.

Основними перевагами технології ЕХА перед традиційними хімічними технологіями є: екологічна чистота, економічність та універсальність – скорочення типу та кількості хімічних реагентів; зменшення витрат праці, часу і матеріалів; можливість використання технічних систем із однаковим типом електрохімічних реакторів для застосування в різних галузях.

Доведено ефективність аноліту проти *Listeria monocytogenes* та здатність ЕХАР підвищувати термін придатності охолоджуваної в ньому харчової сировини. Використання аноліту для знезараження свіжих продуктів схвалено відповідними органами в Японії, США та Кореї.

Механізм антимікробної дії ЕХАР остаточно не встановлено; окислення клітинної мембрани анолітом очевидно порушує метаболізм та викликає загибель клітин.

Технологія електрохімічної активації має тривалу історію розвитку. Проте проведення сучасних фундаментальних та прикладних наукових досліджень, присвячених дослідженню механізмів впливу метастабільних ЕХАР на різні харчові та водні системи, дозволить отри-

мати нові знання та дасть можливість розробки нових підходів до забезпечення якості, біологічної безпеки та підвищення ефективності виробництва споживчих товарів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Electrostatic spraying of organic acids on biofilms formed by *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium on fresh produce / A. Almasoud [et al.]. *Food Research International*. 2015. P. 78, 27–33.
2. Bakhir V. M., Pogorelov A. G. Universal Electrochemical Technology for Environmental Protection. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*. 2018. 7(1). P. 41–57.
3. Barriere S. L. Clinical, economic and societal impact of antibiotic resistance. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*. 2014. 16(2). 151–153.
4. New Acid-oxidizing Solution: Assessment of Its Role on Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Biofilm Morphological Changes / N.A.D'Atanasio[etal.]. *Wounds*. 2015. 27(10). 265–273.
5. Antibacterial activity of novel dual bacterial DNA type II topoisomerase inhibitors / N. D'Atanasio [et al.]. *PLOS ONE*. 2020. 15(2). e0228509.
6. Electrostatic Spray of Food-Grade Organic Acids and Plant Extract to Reduce *Escherichia coli* O157:H7 on Fresh-Cut Cantaloupe Cubes / L. M. Massey [et al.]. *Journal of Food Safety*. 2012. 33(1). P. 71–78.
7. Kim S., Covington A., Pamer E. G. The intestinal microbiota: Antibiotics, colonization resistance, and enteric pathogens. *Immunological Reviews*. 2017. 279(1). 90–105.
8. O'Brien S. J. Foodborne Diseases: Prevalence of Foodborne Diseases in Europe. *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. N1. P. 302–311.
9. Sockett P. Foodborne Diseases: Prevalence of Foodborne Diseases in North America. *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. N 1. P. 276–286.
10. Rendueles O., Ghigo J.-M. Mechanisms of Competition in Biofilm Communities. *Microbiology Spectrum*. 2015. 3(3).
11. A Review on Antibiotic Resistance: Alarm Bells are Ringing / S. B. Zaman [et al.]. *Cureus*. 2017.

REFERENCES:

1. Electrostatic spraying of organic acids on biofilms formed by *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium on fresh produce / A. Almasoud [et al.] (2015), *Food Research International*, p. 78, 27–33.
2. Bakhir, V. M. and Pogorelov, A. G. (2018), Universal Electrochemical Technology for Environmental Protection, *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*, 7(1), p. 41–57.
3. Barriere, S. L. (2014), Clinical, economic and societal impact of antibiotic resistance, *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, 16(2), 151–153.

4. New Acid-oxidizing Solution: Assessment of Its Role on Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Biofilm Morphological Changes / N. A. D'Atanasio [et al.] (2015), *Wounds*, 27(10), 265–273.
5. Antibacterial activity of novel dual bacterial DNA type II topoisomerase inhibitors / N. D'Atanasio [et al.] (2020), *PLOS ONE*, 15(2), e0228509.
6. Electrostatic Spray of Food-Grade Organic Acids and Plant Extract to Reduce *Escherichia coli* O157:H7 on Fresh-Cut Cantaloupe Cubes / L. M. Massey [et al.] (2012), *Journal of Food Safety*, 33(1), p. 71–78.
7. Kim S., Covington A. and Pamer E. G. (2017), The intestinal microbiota: Antibiotics, colonization resistance, and enteric pathogens, *Immunological Reviews*, 279(1), 90–105.
8. O'Brien, S. J. (2014), Foodborne Diseases: Prevalence of Foodborne Diseases in Europe, *Encyclopedia of Food Safety*, N1, p. 302–311.
9. Sockett P. (2014), Foodborne Diseases: Prevalence of Foodborne Diseases in North America, *Encyclopedia of Food Safety*, N 1, p. 276–286.
10. Rendueles O. and Ghigo J.-M. (2015), Mechanisms of Competition in Biofilm Communities, *Microbiology Spectrum*, 3(3).
11. A Review on Antibiotic Resistance: Alarm Bells are Ringing / S. B. Zaman [et al.] (2017). *Cureus*.

Стаття надійшла до редакції 07 січня 2023 року