

Дослідження безперервного контролю інфікованості сокостружкової суміші в дифузійних апаратах*

А.Ф. Кравчук, Український НДІ цукрової промисловості
М.С. Козло, кандидат технічних наук, «Оргхарчпром»

Наведені величини неврахованих втрат цукру, які виникають при дії мікроорганізмів в процесі екстракції соку в дифузійних апаратах. Розглянуто основні лабораторні методи визначення ступені інфікованості дифузійного соку. Проведені випробування автоматичного безперервного визначення ступені інфікованості соку шляхом вимірювання редокс-потенціалу соку в дифузійних апаратах з використанням редоксметричного скляного електроду з твердим контактом.

Ключові слова: дифузійні апарати, невраховані втрати цукру, мікробіологічний контроль, ступінь інфікованості соку, редокс-потенціал, редоксметричний скляний електрод з твердим контактом.

Приведены величины неучтенных потерь сахара, которые возникают при действии микроорганизмов в процессе экстракции сока в диффузионных аппаратах. Рассмотрены основные лабораторные методы определения степени инфицированности диффузионного сока. Проведены испытания непрерывного автоматического определения степени инфицированности сока путем измерения редокс-потенциала соку в диффузионном аппарате с использованием редоксметрического стеклянного электрода с твердым контактом.

Ключевые слова: диффузионные аппараты, неучтенные потери сахара, микробиологический контроль, степень инфицированности соку, редокс-потенциал, редоксметрический стеклянный электрод с твердым контактом.

Unaccounted losses of sugar that are caused by the action of microorganisms (bacteria) in the process of juice extraction in diffusers are estimated. Main laboratory methods to determine the number of bacteria in the crude juice are discussed. Tests of continuous automatic determination of the amount of bacteria in the juice (the degree of juice infection) by measuring the redox potential of juice in the diffuser using the redox metric glass electrode with a solid contact were conducted and summarized.

Keywords: diffusers, unaccounted losses of sugar, microbiological control, the degree of juice infection, redox potential, redox metric glass electrode with a solid contact

Вступ

Проблема контролю інфікованості сокостружкової суміші в дифузійних апаратах стає актуальною, перш за все, в зв'язку зі зміною технології виробництва дифузійного соку.

Перехід до режиму отримання «холодного» дифузійного соку, використання до 60% жомопресової води для екстрагування сахарози, відмова від використання пари в процесі отримання бурякової стружки, практична відсутність мікробіологічного контролю при зберіганні, відмиванні і переробці буряків веде до значних неврахованих втрат цукру.

При дотриманні оптимального технологічного режиму і наявності стандартної сировини невраховані втрати сахарози не перевищують 0,13% до ваги буряків. При переробці буряків низької якості

невраховані втрати сахарози перевищують 0,5% до ваги буряків. Кожна 0,1% неврахованих втрат сахарози призводить до зниження виходу цукру на 0,20...0,25% до ваги буряків. На кожні 50 000 тонн переробки буряків втрачається 100...125 тонн цукру. Це пояснюється тим, що молочна та оцтова кислоти, барвники, які утворились в результаті життєдіяльності мікроорганізмів, залишаються у вигляді мелясо утворюючих солей, а в дифузійних апаратах у вигляді кислот.

Якщо не приділяти уваги зараженню дифузійного соку і довести до 5...7 мл/см³ мікроорганізмів, то при потужності заводу 4 000 тонн буряків на добу втрачається до 4,0 тонн цукру [1, 2, 3].

З нашої точки зору такі втрати цукру тільки в процесі екстракції сахарози заслуговують на ре-

* Дослідження виконані в Українському НДІ цукрової промисловості (УкрНДІЦП)

гламентний контроль інфікованості соку і його науково-технологічний розвиток. Для цього потрібно мати на цукровому заводі мікробіолога. Крім того, що б угамувати життєдіяльність мікроорганізмів на науковій основі, вчені повинні **ідентифікувати за властивостями бактеріальні штами цукрових заводів** [4].

Заслужують на увагу, наприклад для дифузійного соку, такі культури мікроорганізмів, як *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus stearothermophilus*, які мають значний вплив на втрати цукру та його колір. Така бактеріальна культура як *Clostridium thermosaccharolyticum* при температурі дифузійного процесу веде до виділення кислоти та газу, тобто до утворення піни. При переробці і зберіганні меляси необхідно звертати увагу на наявність бактерій *Clostridium butyricum*. Так при виробництві спирту та етанолу розклад сахарози супроводжується виділенням газів CO_2 і H_2 , що при певних умовах може привести як до утворення CO , так і до вибуху.

Приймаючи втрати сахарози пропорційними числу мікроорганізмів і часу, можливо розрахувати втрати сахарози для окремих штамів за формулою:

$$P = P_0 \int_0^t n dt \quad (1)$$

де: P – втрати сахарози; P_0 – кількість сахарози, яку розкладає 1 мільйон мікроорганізмів на протязі однієї години; $n = n_0 \cdot 2^t$ де: n_0 – початкове число мікроорганізмів; t – час, годин.

Без ідентифікації і визначення властивостей бактеріальних штамів при виробництві цукру, ми не досягнемо ні технологічного прогресу, ні якості цукру за стандартами Європейського Союзу.

Крім цього потрібно розробити методи безперервного контролю інфікованості технологічних цукрових розчинів.

Для проведення процесу отримання дифузійного соку з мінімальними неврахованими збитками необхідно знати ступінь зараженості мікроорганізмами сокостружкової суміші.

Ступінь зараженості дифузійного соку сьогодні визначають на підставі:

- *підрахування кількості мікроорганізмів в 1 см³ соку;*

- *вимірювання результату біохімічної діяльності мікроорганізмів.*

Підрахування кількості мікроорганізмів в 1 см³ соку виконується під мікроскопом пластинчатим методом або статичним методом розведення.

Точні мікробіологічні визначення інфікованості сокостружкової суміші в дифузійних апаратах складні і трудомісткі. Тому необхідно мати висококваліфікованих фахівців. При цьому ми можемо отримати результати аналізу проби через кілька десятків годин.

Аналіз непрямих методів оцінки інфікованості середовищ цукрового виробництва дозволяє виділити такі методи:

- вимірювання зміни рН середовища;
- титрометричне визначення кислотності;
- визначення вмісту молочної кислоти;
- визначення вмісту нітритів;
- визначення вмісту редуруючих речовин;
- електрохімічне визначення редокс-потенціалу.

Для угамування мікрофлори в процесі виробництва дифузійного соку за типовим режимом рекомендується в зону, яка знаходиться на ¼ активної висоти (довжини) дифузійного апарату від місця подачі свіжої води через кожні 2 години потрібно все ж таки вводити 40% розчин формаліну [5]. Безумовно, не маючи безперервного контролю інфікованості сокостружкової суміші, такі рекомендації не можуть бути обов'язковими. Технологічний режим має право на існування, коли є хоча б сертифікований лабораторний метод його контролю. В зв'язку з входженням України в асоціацію Європейського Союзу на цукрових заводах повинні бути запроваджені методи і прилади контролю інфікованості продуктів цукрового виробництва, які діють в Європейському Союзі. Для цього відповідний відділ УкрНДІЦП чи спеціалізована фірма повинні володіти методами та мати відповідні прилади для ідентифікації за властивостями (зміна кольору соку, оптимальна і максимальна температура, утворення із сахарози кислот і газів, втрати сахарози за годину на 1 млн. мікроорганізмів в 1 мл соку чи сокостружкової суміші) бактеріальні штами працюючих цукрових заводів та адаптувати відповідні методики визначення інфікованості технологічних продуктів, які прийняті в Європейському Союзі.

Ми маємо інститут післядипломної освіти, тому повинні мати відповідну сучасну підготовку фахівців-мікробіологів.

Лабораторний контроль інфікованості сокостружкової суміші в дифузійних апаратах
Враховуючи втрати цукру від діяльності мікроорганізмів в процесі тільки виробництва дифузійного соку, зарубіжні вчені продовжували пошуки вдосконалення існуючих методик визначення мікробіологічної активності в технологічних середовищах. Нагадаємо про деякі з них:

- *метод розрахунку мікроорганізмів в чашках Петрі:* визначення при допомозі фарбування та підрахунку мікроорганізмів і визначення з допомогою редокс-індикатора резауріна [3, 4]. Розвиток методу прискорює отримання результатів за десятки хвилин.

Резазурін – показник окиснювально-відновлюваних процесів, знебарвлюється живими мікробними клітинами; послідовність зміни кольорів – синій, фіолетовий, рожевий, безбарвний, рожевий. Швидкість зміни кольорів пропорційна щільності мікробів. Час процесу – 20-30 хвилин. Контроль процесу – спектрофотометром.

Недоліки: - результати через десятки годин або

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

десять хвилин;

- деякі колонії не піддаються розпізнанню.

- *метод розрахунку з пофарбуванням індикатором конго-червоний*: до 1 мл соку добавляють 1 мл 2% водяного розчину конго-червоний і витримують 10 хвилин; потім відбирають 0,01 мл і розділяють на предметному склі, а далі висушують і під мікроскопом підраховують вміст живих мікробів відносно 1 мл (мілілітр) соку. Кількість мікробів в дифузійному соку може досягати 290 мільйонів.

Недоліки: - метод не забезпечує безперервність визначення інфікованості середовища.

- *метод визначення молочної кислоти*: молочна кислота - основний продукт розпаду сахарози (96% кислот): помірні кількості молочної кислоти в дифузійному соку 100...200 мг/л, при сильній інфікованості – 500 мг/л. Рекомендовані методи визначення:

- хроматографія в тонкому прошарку;
- газова хроматографія;
- колориметрія з тимолом;
- за методикою визначення ензимів;
- лабораторний ензиматичний метод;

В більшості випадків використовують колориметрію з тимолом, або визначення L- лактату за лабораторним ензиматичним методом по Шивеку і Бюшенгу, а загальної молочної кислоти – колориметричним методом з тимолом.

В практичному плані в цукровій промисловості використовують тільки колориметричний метод визначення молочної кислоти, модифікований в чеськими вченими А.Штиховою, П.Свободою, і П.Кадлецем.

Звертаємо увагу на існуючий зв'язок між L-лактатом і загальним вмістом молочної кислоти, на який у нас не звертають уваги, що знижує ефективність контролю.

- *визначення вмісту нітритів*: нітрит утворюється шляхом редукції нітрату термофільними бактеріями в процесі екстракції сахарози; аналіз здійснюється хімічним способом шляхом утворення забарвленого з'єднання з альфанафтіламіном та сульфаниловою кислотою; визначений вміст нітриту в стружці – 27...35 мг/л засвідчує про бактеріальну активність; нормальний рівень – 0,6...0,8 мг/л.

Недоліки:

- існують мікроби, які розкладають нітрити і дають сірчаний водень, що зводить аналізи до нульового результату;

- відсутність нітритів не являється показником відсутності бродильних процесів.

- *вимірювання зміни рН середовища*: вимірювання не ефективне.

Недоліки:

- проявляється зміна рН тоді, коли значна частина сахарози розкладається до органічних кислот;

- зміну рН може бути визвано зміною рН живильної води;

- зміну рН також може бути визвано не кислотогенними мікробами.

- *електрохімічне визначення редокс-потенціалу*: спад парціального тиску кисню, обумовлений диханням бактерій; вимірювання за допомогою кисневого електроду.

Дослідами встановлено, що для розмноження термофільних коків потрібно мати величину редокс-потенціалу, що перевищує 200 мВ. Такі умови існують в апаратах типу ДС-12. В колонних апаратах величина редокс-потенціалу дещо нижча 300 мВ. Дослідженнями встановлена термофільна шкала для середини по висоті колонного дифузійного апарата: значенням *термофільних бактерій* 10^4 та 10^5 на см^3 відповідає величина редокс-потенціалу – 72 мВ та 100 мВ.

Недоліки: - для визначення шкали приладу необхідно визначати кількість термофільних бактерій під мікроскопом з використанням таблиці Хоскіна.

Не дивлячись на вказаний недолік редокс-потенціальний метод контролю інфікованості сокостружкової суміші в середній частині дифузійних апаратів дозволяє безперервно аналізувати інфікованість сокостружкової суміші в апараті.

Промисловий безперервний контроль інфікованості сокостружкової суміші в дифузійних апаратах

Відділ автоматизації виробничих процесів УкрНДЦП (зав.відділом А.Ф. Кравчук) провів дослідження інфікованості мікроорганізмами сокостружкової суміші в середній частині колонного дифузійного апарату з метою розробки методу безперервного контролю ступені інфікованості сокостружкової суміші з використанням редоксметричного електроду з твердим контактом [6]. Вимірювання редокс-потенціалу здійснюється при допомозі редоксметричного електроду, потенціал якого залежить від активності речовин що впливають на процес переносу електрона окисно-відновлювальної реакції, яка виникає в результаті життєдіяльності мікроорганізмів.

Основна складність визначення редокс-потенціалу (E_h) прямим потенціометричним методом полягає у виборі вимірної електроду, який повинен бути стійким до дії досліджуваного розчину, а окисно-відновлювана реакція повинна бути незворотною і проходити тільки в одному напрямку. В реальних виробничих умовах на визначення редокс-потенціалу мають вплив з'єднання здатні вступати в реакції комплексоутворення. В технологічних процесах мають місце реакції комплексоутворення, тому доцільність використання редоксметричного електроду для безперервного контролю зараженості мікроорганізмами такого середовища визначається в виробничих умовах.

Для перевірки можливості використання редоксметричного електроду проведено ряд лабораторних і виробничих досліджень. В лабораторних дослідах використовувались прилади типу рХ-150 та ЕВ-74 з редоксметричним скляним електродом з твердим контактом фірми «Генезис» (РФ), який має малу адсорбційну та каталітичну активність, що дозволяє виключити вплив молекулярного кисню, водню, хлору та інших органічних речовин. Чутливий елемент електроду виготовлений із силікатного скла спеціального складу. Скло має електронний характер провідності. Чутливий елемент припаяний до скляного корпусу. Твердий контакт з індикаторною мембраною здійснюється за допомогою мідного покриття, нанесеного на внутрішню поверхню електроду. Для визначення потенціалу редоксметричного електроду в лабораторних умовах приготували розчин. Потенціал редоксметричного електроду, занурений в цей розчин відносно хлор срібного насиченого електроду повинен дорівнювати 260 ± 10 мВ. Ми досягли величини 262,5 мВ. Відповідно за розробленою методикою проведено градування шкал приладів.

Проведені лабораторні дослідження підтвердили можливість контролю ступеню інфікованості сокостружкової суміші за допомогою редоксметричного електроду фірми «Генезис». В реальних виробничих умовах мікроорганізми не мають стабільного типу або складу, що ускладнює вимірювання редокс-потенціалу. На основі значень редокс-потенціалу розділяють мікроорганізми на три групи:

- типові аеробні бактерії, які розвиваються при редокс-потенціалі більшому ніж +200 мВ;
- абсолютно без кисневі бактерії, що мають редокс-потенціал менший ніж 200 мВ;
- без кисневі бактерії, які розвиваються при плюсових та мінусових значеннях редокс-потенціалу.

При вимірюванні редокс-потенціалу в обмеженому об'ємі має місце термодинамічна не зрівноваженість і безперервна «пульсація» потенціалу. Це явище зникає при вимірюванні редокс-потенціалу в збільшеному об'ємі або безпосередньо в дифузійному апараті. На вимірювання редокс-потенціалу впливає матеріал електродів. Крім вибраного нами редоксметричного скляного електроду існують платинові, золоті і інші електроди, дослідження з якими виконують за окремими методиками. На даному етапі нас задовольняє зниження впливу молекулярного кисню на вимірювання редокс-потенціалу. Якщо в дослідженнях ми користувались промисловими електродами, виготовленими на базі лабораторного електроду типу ЭС-00.12.01, то сьогодні ми маємо комбінований редоксметричний електрод типу ЭРП-105, дослідження якого для умов середовищ цукрового заводу продовжуються.

На час промислових випробувань редоксме-

тричного електроду технологічний відділ УкрНДІЦП (завідуючий відділом Л,Г, Білостоцький) і дослідне виробництво інституту органічної хімії НАН України розробили і налагодили виробництво антисептичного препарату під назвою «Вазин», який повинен замінити антисептик «Формалін». В дослідженнях приймала участь аналітична лабораторія УкрНДІЦП (завідуюча лабораторією І.В.Захарова).

Дослідження безперервного вимірювання редокс-потенціалу виконувались в заводських умовах в колонному дифузійному апараті за принциповою схемою, показаною на рис. 1.

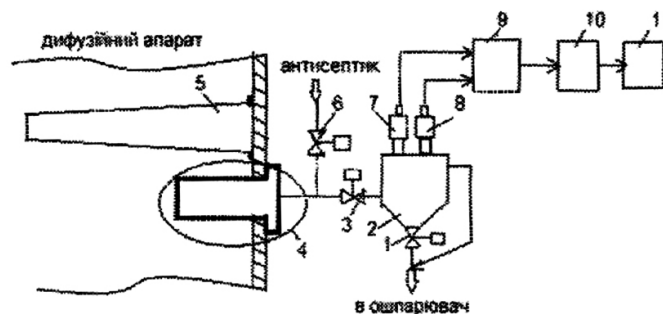


Рис. 1. Принципова схема пристрою для безпосереднього вимірювання редокс-потенціалу соку в колонному дифузійному апараті.

1 – кран, 2 – пристрій для вимірювання редокс-потенціалу, 3 – кран, 4 – пристрій з фільтром для відбору соку, 5 – контролапа, 6 – кран, 7 – електрод редоксметричний, 8 – електрод хлор срібний, 9 – рН-метр, 10 – електропневмоперетворювач, 11 – прилад самописний.

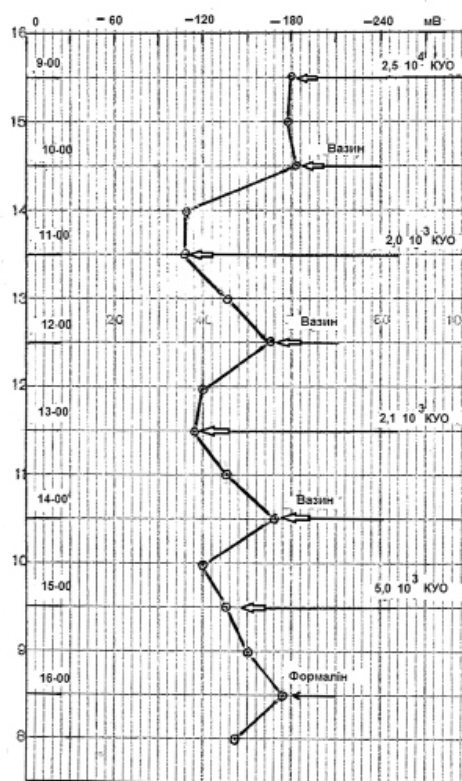


Рис. 2. Зміна редокс-потенціалу соку в середній частині колонного дифузійного апарату.

Під час дослідження через кожні дві години в дифузійний апарат вводився антисептик «Вазин». Контрольні проби соку відбирались за годину перед кожним введенням антисептика і через годину після кожного його введення. У відібраних пробах в лабораторних умовах визначали кількість мікроорганізмів в 1 см³ соку КУО (Колоній Утворюючих Одиниць), вміст молочної кислоти, нітритів, рН та вміст сухих речовин.

Окремі результати дослідження приведені на **рис. 2**. Після кожного введення антисептика спостерігається зниження редокс-потенціалу від 170...180 мВ до 100...120 мВ, що відповідає вмісту мікроорганізмів $2,0 \cdot 10^3 \dots 2,5 \cdot 10^4$ КУО. Зростання редокс-потенціалу співпадає з ростом зараженості

сокостружкової суміші мікроорганізмами.

На **рис. 3** наведений графік зміни редокс-потенціалу, при якому мають місце низькі невраховані втрати цукру і, як наслідок, введення антисептика не виконується.

Багаторазові мікробіологічні визначення кількості бактерій у відібраних пробах соку дозволили визначити статичну характеристику кореляції між \lg КУО і редокс-потенціалом. Взаємозв'язок між КУО рівнем вмісту мікроорганізмів та редокс-потенціалом показаний на **рис. 4**, і відповідає рівнянню регресії:

$$\lg \text{КУО} = 14,69 E_h + 1772 \quad (2)$$

де: $\lg \text{КУО}$ – логарифм кількості мікроорганізмів в 1 см³ соку;

E_h – редокс-потенціал, мВ.

Результати порівняння редокс-потенціалу з фактичною кількістю мікроорганізмів в соку приведені в таблиці 1.

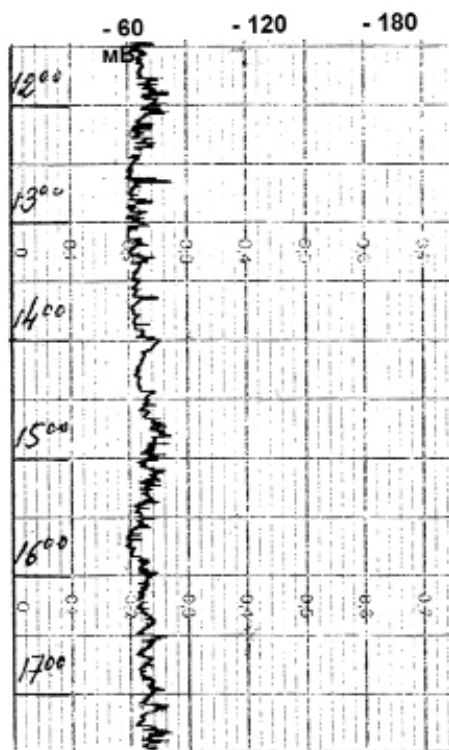


Рис. 3. Зміна редокс-потенціалу соку при переробці якісних буряків

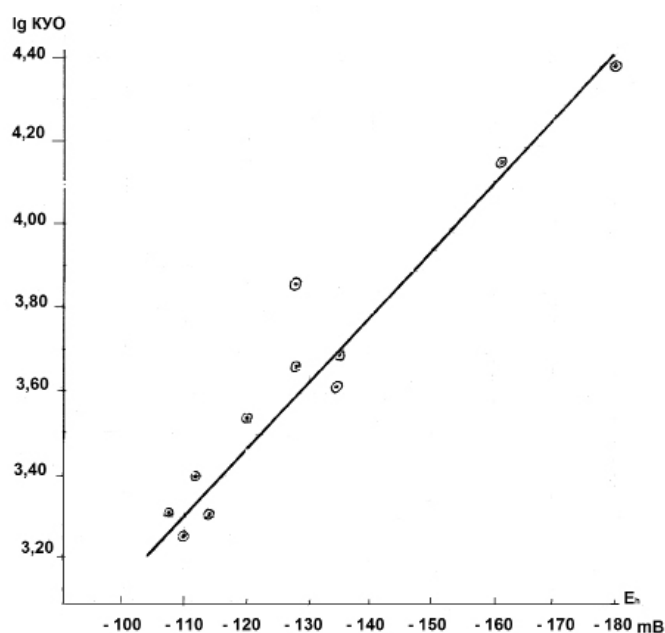


Рис. 4. Статистична кореляційна залежність між E_h і $\lg \text{КУО}$

Таблиця 1

Редокс-потенціал, E_h , мВ	Кількість бактерій КУО	КУО	Розрахунок значень $\lg \text{КУО}$	Відхилення розрахованих значень $\lg \text{КУО}$ від фактичного		Розраховане значення КУО
				Дійсне	%	
180	$2,51 \cdot 10^4$	4,398	4,416	+ 0,018	0,40	$2,61 \cdot 10^4$
162	$1,50 \cdot 10^4$	4,167	4,152	- 0,115	0,36	$1,42 \cdot 10^4$
132	$1,05 \cdot 10^4$	4,021	3,711	- 0,310	7,70	$0,51 \cdot 10^4$
128	$7,20 \cdot 10^3$	3,857	3,652	- 0,205	5,31	$4,49 \cdot 10^3$
135	$5,00 \cdot 10^3$	3,700	3,755	- 0,055	1,49	$5,69 \cdot 10^3$
128	$4,50 \cdot 10^3$	3,653	3,652	- 0,001	0,03	$4,49 \cdot 10^3$
135	$4,20 \cdot 10^3$	3,623	3,755	+ 0,132	3,64	$5,69 \cdot 10^3$
120	$3,50 \cdot 10^3$	3,544	3,535	- 0,009	0,26	$3,43 \cdot 10^3$
112	$2,60 \cdot 10^3$	3,398	3,417	+ 0,019	0,56	$2,61 \cdot 10^3$
108	$2,01 \cdot 10^3$	3,301	3,358	+ 0,057	1,73	$2,28 \cdot 10^3$
114	$2,01 \cdot 10^3$	3,301	3,447	+ 0,146	4,42	$2,80 \cdot 10^3$
118	$1,80 \cdot 10^3$	3,255	3,338	+ 0,133	4,09	$2,42 \cdot 10^3$

Для визначення моменту введення антисептика Ністранд [7] вважає достатнім оцінювати ступінь зараженості середовища по зміні КУО в межах піддіапазонів, які відрізняються один від одного в 1000 разів:

КУО нижче $10^{2.5}$ - «дуже добре»;

КУО $10^{2.5} \dots 10^3$ - «добре»;

КУО $10^3 \dots 10^4$ - «активність мікроорганізмів»;

КУО $10^4 \dots 10^5$ - «шкідливе, треба реагувати»;

КУО вище $10^5 \dots$ - «дуже шкідливе, необхідна дезінфекція».

Безумовно, безперервний контроль інфікованості соку з похибкою 15...20% дозволяє значно точніше визначати інфікованість сокостружкової суміші, ніж рекомендується Ністрандом.

Заплановані випробування серійно виготовлених редоксметричних платинових електродів типу ЕРП – 105 фірми «Измерительная техника» (РФ) дозволять виконати порівняння чутливості редоксметричних електродів різного типу, а також визначити вплив на величину редокс-потенціалу комплексних з'єднань в соку.

Висновки

1. Лабораторні методи контролю інфікованості сокостружкової суміші в дифузійних апаратах що використовуються на цукрових заводах потребують вдосконалення.

2. Абсолютне значення редокс-потенціалу підвищується із збільшенням інфікованості сокостружкової суміші мікроорганізмами.

3. Критична кількість мікроорганізмів (вище 10^5 КУО) відповідає редокс-потенціалу > 180 мВ.

4. Лінійна кореляційна залежність між величиною інфікованості сокостружкової суміші КУО і редокс-потенціалом E_h знаходиться в межах коефіцієнта кореляції $r = 0,852$.

5. На кожному працюючому цукровому заводі

потрібно дослідити та ідентифікувати за властивостями бактеріальні штами з метою вибору ефективного антисептика.

6. Промислові випробування безперервного контролю інфікованості дифузійного соку з використанням скляного редоксметричного електроду з твердим контактом довели перспективність цього методу і необхідність його технічного розвитку.

7. Необхідно провести заводські випробування нового серійного редоксметричного платинового комбінованого електроду типу ЕРП – 105, виготовленого ООО «Измерительная техника» (Москва) з використанням сучасних приладів.

Список використаних джерел

1. Dobrzycki J., Ludwicki M. und Wawro. Redokspotential Messungen zur Steuerung der Desinfektion. / Zuckerindustrie.- 1989. – N9. – 706-708 s.

2. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. / М : «Колос». 1999. - 495 с.

3. Клаусгобер Н. Микробиологические проблемы получения соков в сахарной промышленности. / Cukroripian. - 1975. - №1. С. 13-16.

4. Toth-Zsiga I. Identifizierung und Sacharoseabbauvermögen von aus Rohsaften gesuchten Bakterienstämmen. / Z.Zuckerindustrie, 1969, 19, № 1, s.32-34 .

5. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків: правила усталеної практики 15.83-37-106 : 2007.- К. Видавництво: ТОВ «Інформаційно-аналітичний Центр «Цукор України». – 2007. - 419 с.

6. Провести дослідження з метою розробки безперервного контролю інфікованості сокостружкової суміші в дифузійних апаратах. / Звіт виконання НДР. Відділ автоматизації виробничих процесів УкрНДІЦП. // К : УкрНДІЦП. - 1994. – 43 с.

7. Nystrand R., Disinfectants in Beet Sugar Extraction. / Z. Zuckerindustrie. - 1985. – № 3. s 643.

ЦІКАВІ НОВИНИ

165 років від дня народження Анрі-Луї Ле-Шательє

8 жовтня 1850 року народився французький хімік Анрі-Луї Ле-Шательє. Це широко освічена та ерудована людина. Його цікавили і техніка, і природничі науки, і суспільне життя. У віці 27 років Ле-Шательє став професором Вищої гірничої школи, а тридцять років потому - Паризького університету. Тоді ж він був обраний у дійсні члени Паризької Академії наук.

Найбільш важливий внесок французького вченого в науку був пов'язаний з вивченням хімічної рівноваги, дослідженням зміщення рівноваги під дією температури та тиску. Студенти Сорбонни, які слухали лекції Ле-Шательє в 1907-1908 роках, так записували у своїх конспектах: «Зміна будь-якого фактора, що може впливати на стан хімічної рівноваги системи речовин, викликає в ній реакцію, яка прагне протидіяти виробленій зміні. Підвищення температури викликає реакцію, яка прагне знизити температуру, тобто йде з поглинанням тепла. Збільшення тиску викликає реакцію, яка прагне викликати зменшення тиску, тобто супроводжується зменшенням обсягу ... ».

На жаль, Ле-Шательє не був удостоєний Нобелівської премії. Причина полягала в тому, що ця премія присуджувалась тільки авторам робіт, які виконали або отримали визнання в рік отримання премії. Найважливіші роботи Ле-Шательє були виконані задовго до 1901 року, коли відбулося перше присудження Нобелівських премій.

Джерело: www.biografiya.com.ua