

УДК 664.1.014

ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ НЕВРАХОВАНИХ ВТРАТ САХАРОЗИ
У ЦУКРОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ*Чернявська Л. І., д.т.н., професор,*
<https://orcid.org/0009-0006-4574-9754>*Моканюк Ю. О., наук. спів.*
<https://orcid.org/0009-0006-9149-641X>*Барабанов П. М., к.т.н., ст. наук. спів.*
<https://orcid.org/0009-0006-9311-1261>Відділ технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-17>

Предмет. Визначення продуктів розкладання сахарози – глюкози та молочної кислоти за допомогою ферментного аналізатора. **Мета.** Розроблення інструментального експрес-методу визначення неврахованих втрат сахарози у цукровому виробництві. **Методи.** Оскільки основними продуктами розкладання сахарози є редукувальні речовини і молочна кислота, тому для досліджень був використаний прилад – ферментний аналізатор, датчики якого були оснащені глюкозооксидазною та лактатоксидазною мембранами. Дослідження виконували в лабораторних та промислових умовах. В лабораторії готували модельні розчини глюкози і молочної кислоти, які аналізували за допомогою ферментного аналізатора. В результаті досліджень було визначено способи калібрування датчиків, тривалість їх відмивання буферними розчинами, використання датчиків різних систем та похибки вимірювань. По модельних розчинах глюкози та молочної кислоти були побудовані калібрувальні графіки. За відпрацьованим регламентом на приладі у виробничих умовах було проаналізовано продукти переробки цукрових буряків: дифузійний сік, очищений сік, сироп та меляса. Паралельно визначали невраховані втрати аналітичними методами: редукувальні речовини – методом Берлінського інституту, вміст молочної кислоти-колориметричним методом з використанням хлорного заліза. **Результати.** Отримані в лабораторних умовах результати було опрацьовано методами математичної статистики, внаслідок чого отримано регресійні рівняння залежності вмісту глюкози та молочної кислоти в розчинах від показань ферментного аналізатора. Розроблено алгоритм розрахунку визначення втрат сахарози від її розкладання за вимірюваннями в технологічних розчинах вмісту глюкози і молочної кислоти. Перевірка розробленої методики у промислових умовах на реальних продуктах цукрового виробництва підтвердила можливість визначення неврахованих втрат сахарози у цукровому виробництві за допомогою ферментного аналізатора. **Сфера застосування результатів.** За результатами досліджень запропоновано інструментальний експрес-метод визначення неврахованих втрат сахарози у виробництві. Впровадження методики дасть можливість оперативно визначати продукти розкладання сахарози у цукровому виробництві та контролювати невраховані втрати, за отриманими даними коригувати технологічний режим переробки буряків та внесення антисептиків. Це дозволить збільшити вихід цукру на 0,3% до маси буряків та підвищити ефективність виробництва.

Ключові слова: невраховані втрати сахарози, глюкоза, молочна кислота, ферментний аналізатор.

AN INNOVATIVE METHOD OF CONTROLLING UNACCOUNTED LOSSES
OF SUCROSE IN SUGAR PRODUCTION*Liudmyla Chernyavska, D-r of Sciences, Professor,*
<https://orcid.org/0009-0006-4574-9754>*Yuliya Mokanyuk, Researcher*
<https://orcid.org/0009-0006-9149-641X>*Pavlo Barabanov, PhD, Technics, Sen. Res,*
<https://orcid.org/0009-0006-9311-1261>

Subject. The quantitative determination of the decomposition products of sucrose – glucose and lactic acid using an enzyme analyzer. **Purpose.** To develop an instrumental express method for determining unaccounted losses of sucrose in sugar production. **Methods.** Since the main products of the decomposition of sucrose are reducing substances and lactic acid, therefore, a device was used for research – an enzyme analyzer, the sensors of which were equipped with glucose oxidase and lactate oxidase membranes. Research was carried out in laboratory and industrial conditions. In the laboratory, model solutions of glucose and lactic acid were prepared, which were analyzed using an enzyme analyzer. As a result of the research, the methods of calibrating the sensors, the duration of their washing with buffer solutions, the use of sensors of different systems and measurement errors were determined. Calibration graphs were constructed for model solutions of glucose and lactic acid. According to the developed regulations, the products of sugar beet processing were analyzed on the device under production conditions: diffusion juice, purified juice, syrup and molasses. At the same time, unaccounted losses were determined by analytical methods: reducing substances – by the Berlin Institute method, lactic acid content – by a colorimetric method using iron chloride. **Results.** The results obtained in laboratory conditions were worked out by the methods of mathematical statistics, as a result of which the regression equations of the dependence of the glucose and lactic acid content in the solutions on the enzyme analyzer readings were obtained. An algorithm for calculating the loss of sucrose from its decomposition based on measurements of the content of glucose and lactic acid in technological solutions has been developed. Verification of the developed methodology in industrial conditions on real products of sugar production confirmed the possibility of determining unaccounted losses of sucrose in sugar production using an enzyme analyzer. **Scope of results.** According to the research results, an instrumental express method for determining unaccounted losses of sucrose in production is proposed. The implementation of the method will make it possible to quickly determine the decomposition products of sucrose in sugar production and control unaccounted losses, based on the obtained data to adjust the technological mode of beet processing and introduction of antiseptics. This will increase the yield of sugar by 0.3% to the mass of beets and increase production efficiency.

Key words: unaccounted losses of sucrose, glucose, lactic acid, enzyme analyzer.

Постановка проблеми. Ефективність цукрового виробництва значною мірою залежить від втрат сахарози у технологічному процесі. Одна частина втрат, враховані, зокрема, це втрати в жомі після екстрагування сахарози із стружки та у фільтраційному осаді після його знецукрення, зумовлена власне особливістю процесу переробки буряків. В контролі виробництва існують методи визначення цих втрат сахарози. Друга частина втрат, що мають назву невраховані, визначаються під час складання балансу сахарози від надходження її зі стружкою до пакування готової продукції у мішок. У цьому балансі враховують також вміст сахарози в мелясі. Різниця між загальними та врахованими втратами є невраховані втрати сахарози. Розкладання сахарози в технологічних розчинах може бути зумовлено низкою чинників: під дією мікроорганізмів, високих температур, кислот, лугів тощо. Реакція відбувається у дві стадії: перша – утворення моносахаридів (глюкоза і фруктоза); друга – подальше розкладання до органічних кислот, серед яких переважає молочна. За різними джерелами наукових досліджень вона може становити від 75 до 96%.

В останні роки у технічній літературі з'явилися повідомлення щодо нових аналітичних експрес-методів визначення втрат сахарози внаслідок її розкладання у технологічному процесі. Зокрема, метод визначення кислотності продуктів дифузійного відділення шляхом титрування, колориметричний метод визначення в соках та сиропі вмісту молочної кислоти, аналізування продуктів дифузійного відділення за допомогою спеціальних реагентів тощо [2].

У багатьох країнах поряд з розвитком та вдосконаленням універсальних аналітичних методів та приладів, що дозволяють одночасно визначати багато компонентів та аналізувати складні суміші речовин, спостерігається прагнення створювати прості аналітичні пристрої, призначені для прямого, селективного та максимально автоматизованого визначення різноманітних речовин у промислових та природних об'єктах. Цей новий напрямок активно розвивається в США, Японії, ФРН, Великобританії, Франції, Німеччині, де широко досліджують теоретичні основи та принципи дії хімічних сенсорів [3–11].

Хімічний сенсор є основним елементом нового покоління аналітичних приладів – сенсорних аналізаторів [6, 9], що включають поряд з чутливим елементом (сенсором), пристрою для введення проби, обробки сигналу та видачі кінцевого результату про концентрацію зумовленого елементу. Щоб підвищити або забезпечити вибірковість на вихідному пристрої таких приладів можуть розміщуватися селективні мембрани. Методика визначення заданої речовини закладена в самому технічному рішенні приладу. Слід зазначити, що при всій простоті сенсорні аналізатори і самі хімічні сенсори – вироби складної технології, більшість з них запатентовано і є секретами фірм-виробників.

Конструктивно біосенсор є комбінований пристрій, що складається з біохімічно і біологічно активного компонента і електронного перетворювача. Як біокомпоненти можуть бути використані білки, ферменти, антитіла, антигени, мікроорганізми, а як перетворювач – електрод, транзистор, термістор тощо. До недоліків біосенсорів можна віднести малу стабільність, проблеми однорідності складу біоорганічного матеріалу, впливу надто високих та низьких температур, бактерицидного забруднення тощо [6].

У науковому середовищі здійснюються інтенсивні роботи по створенню біоматеріалів, дослідженню механізму реагування, технології нанесення на перетворювач, засоби підсилення та опрацювання сигналів. На вирішення цих проблем спрямовані зусилля різних дослідницьких центрів. Тільки у США на цьому напрямку працюють більше ніж 100 фірм і некомерційних організацій. Американський національний науковий фонд відніс науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи в області біосенсорів до першочергових завдань. Уже зараз біосенсори використовують для визначення широкого кола речовин. На думку зарубіжних експертів, в найближчі роки вони знайдуть багатомільярдний збут у медицині, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості [6, 7].

На точність вимірювань впливає наявність високих концентрацій електрохімічно активних сполук невеликої молекулярної маси (вільні амінокислоти, пурино-піримідинові основи, аміді тощо), а також речовин, що підвищують в'язкість розчинів (сахароза). Наявність металів значною мірою спотворює результати вимірів і отруює електроди [5, 6]. Для підвищення вибірконості ферментних електродів використовують біокаталітичні мембрани на основі ацетат-целюлози та ядерних фільтрів.

Для визначення вмісту цукрів (глюкози, фруктози, сахарози, лактози, мальтози) у США, Франції успішно застосовують ферментні електроди, у Греції – періодатні [4, 5, 10]. Спеціалістами фірми Sere (Франція) і університету в м. Комп'єнь розроблено аналізатор «Ензімат» для визначення спирту, глюкози, сахарози, мальтози, L-лізину, загального вмісту α -амінокислоти [10].

Принцип дії аналізатора ґрунтується на використанні іммобілізованих на желатині ферментів з активністю оксидоредуктази в якості ферментного електрода. При виконанні аналізів не потрібно попередньо обробляти та готувати проби. Загальна тривалість циклу вимірювань становить 1 хв. Значення концентрації аналізованої речовини отримують через 1 с після введення проби у вимірювальну кювету. Об'єм проби для промислового аналізу становить близько 1 мл.

За повідомленням спеціалістів цукрової промисловості США, ними розроблені методика і наведено результати випробувань в лабораторіях тростиноцукрового заводу

приладу для визначення концентрації глюкози за допомогою ферментного електроду. При обробці інвертазою проби, яка містить сахарозу, концентрація її може бути виміряна безпосередньо, якщо в розчині нема глюкози. Такий прилад доцільно використовувати для аналізів соків тростинноцукрового виробництва. Він відносно простий в обслуговуванні, на його показання не впливає забарвлення розчинів, присутність полісахаридів і інших нецукрів. До недоліків методу потрібно віднести те, що він не забезпечує високої точності порівняно з існуючими методами [10].

Співробітники лабораторії аналітичної хімії Афіньського університету [5] розробили спосіб визначення редуковальних речовин і сахарози в природних продуктах і продуктах промислового виробництва за допомогою автоматичної системи аналізу методом безперервного струменя. Процес проведення аналізів повністю автоматизований, не вимагає попередньої обробки зразка, за виключенням гідролізу сахарози. Швидкість проведення аналізів становить 30 проб за годину, похибка вимірювання 1–3%. Порівняно з методом Фелінга спосіб дає задовільні результати. За допомогою розробленого способу автори визначали вміст глюкози і фруктози в меді, полуничному і вишневому джемі, апельсиновому, мандариновому свіжих соках, персиковому, полуничному, грушевому, вишневому консервованих фруктових соках. Ці результати порівнювались з даними, одержаними методом Фелінга. Похибка склала в середньому $\pm 2,9\%$ [10].

Метою наших досліджень було розроблення інструментального експрес-методу визначення неврахованих втрат сахарози у цукровому виробництві на основі лабораторних та промислових досліджень на модельних і реальних розчинах бурякоцукрового виробництва на ферментному аналізаторі і визначення в них продуктів розкладання сахарози – вмісту глюкози та молочної кислоти.

Матеріали та методи. Дослідження виконували на стандартних, модельних розчинах та реальних продуктах цукрового виробництва. Як стандартні використовували модельні розчини глюкози і лактату літію. Досліди на стандартних розчинах дозволили визначити час відгуку датчика, тривалість відмивання мембрани, а також величину похибки при недостатньому відмиванні.

Класичний метод визначення неврахованих втрат сахарози при переробці буряків. Класичним методом визначення кількості сахарози, що розкладалася в технологічному процесі, є аналітичне визначення приросту кількості редуковальних речовин, і кислот, які перераховують на сахарозу з урахуванням кількості технологічних продуктів на певній ділянці процесу і показників їх якості. Теоретичні засади цього методу, методика виконання та розрахункові формули були розроблені А. Я. Загорульком. Цей метод внесений до діючої галузевої Інструкції з контролю та обліку цукрового виробництва [1] та використовується при оснащенні заводської лабораторії необхідним обладнанням. Ними він використовувався як контрольний при визначенні втрат сахарози на різних ділянках цукрового виробництва.

Схему вимірювально-перетворювальної установки представлено на рис. 1.

Після введення проби 7 піпетковим дозатором 8 через канал 6 всередину вимірювального осередку 17 відбувається розведення проби буферним розчином в камері датчика 5 при перемішуванні магнітною мішалкою 16. Мішалка приводиться в обертання магнітом 14, що обертається на осі 15. В мембрані 13 відбувається ферментативна реакція окислення глюкози або молочної кислоти, внаслідок якої утворюється струм на вході перетворювача 9.

Усі вимірювання проводили в 0,01 М фосфатних буферних розчинах, забезпечуючи рН 7,3 – оптимальної реакції середовища для діяльності ферментів глюкозооксидази та лактатоксидази.

Після вимірювання концентрації глюкози або лактату і калібрування датчик 17 промивається буферним розчином, що подається з посудини 2 за допомогою насоса 18 через канал 4. Використана рідина відсмоктується через канал 3 насоса. Час промивання

встановлюється блоком управління 19. Живлення електричної схеми аналізу здійснюється блоком живлення 20. Схему вимірювальної комірки наведено на рис. 2

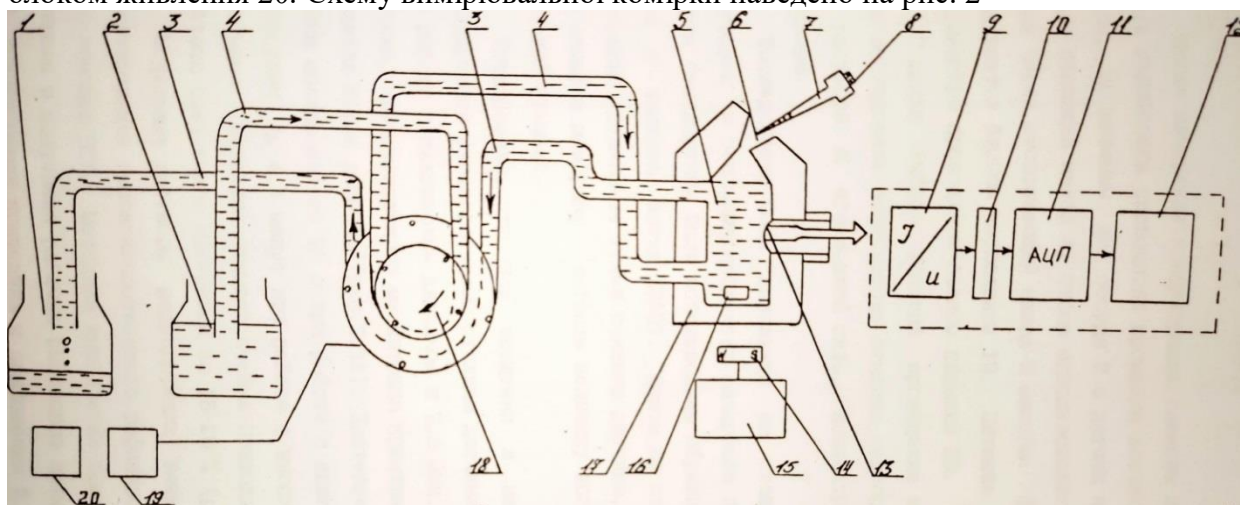


Рис. 1. Структурна схема аналізатора:

1, 2 – посудини з використаним і буферним розчинами; 3, 4 – трубопроводи для відтяжки відпрацьованого та подачі буферного розчинів; 5 – камера датчика; 6 – канал для введення проби; 7 – проба в піпетковому дозаторі; 8 – піпетковий дозатор; 9 – перетворювач виміряного струму в постійну напругу; 10 – пристрій для масштабування; 11 – аналогово-цифровий перетворювач; 12 – індикаторне табло; 13 – мембрана глюкозооксидазна або лактатоксидазна; 14 – магніт, що обертається на осі електродвигуна; 15 – електродвигун мішалки; 16 – магніт; 17 – датчик; 18 – ротор насоса; 19, 20 – блоки управління та живлення

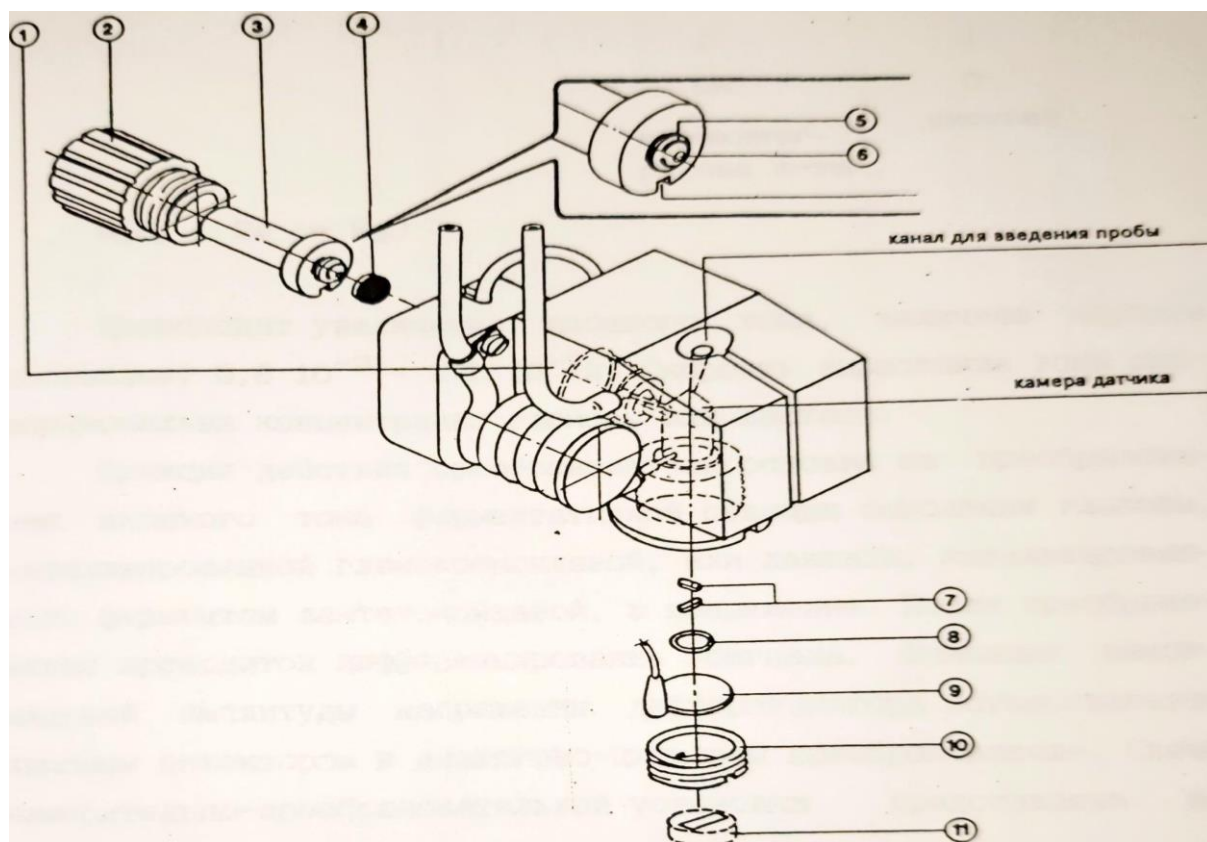


Рис. 1. Вимірювальна комірка з ферментним датчиком:

1 – корпус датчика, 2 – гайка кріплення електроду, 3 – електрод, 4 – мембрана, 5 – срібний електрод, 6 – платиновий електрод, 7 – магнітна мішалка, 8 – ущільнювач, 9 – титановий електрод, 10 – гайка кріплення титанового електроду, 11 – монітор

Ферментний електрод складається із електрохімічного датчика пероксиду водню і ферментної мембрани, змонтованих в одній комірці. Електрохімічний датчик складається із платинового вимірювального і срібного допоміжного електродів, змонтованих в одному корпусі. Мембрану (глюкозооксидази або лактатоксидази у фосфатному буфері) розміщують між ядерним фільтром з діаметром пор 1 мкм, отриманим за електронною технологією, і мембраною із ацетилюваної целюлози. Зібрану ферментну мембрану фіксують на електроді за допомогою гумового кільця.

Результати та обговорення. Були проведені дослідження по вимірюванню концентрації продуктів розкладання сахарози за допомогою біосенсорів. Оскільки для нас є дуже важливим одночасне вимірювання в досліджуваному розчині глюкози і лактатів, ми використовували 2 вимірювальні комірки – одна для вимірювання глюкози, друга – для лактату.

У технологічному процесі цукрового виробництва реакції відбуваються за схемою: сахароза під дією ферменту сахарази або інших чинників розкладається на еквімолярні кількості глюкози і фруктози. Одна молекула глюкози під дією глюкозооксидази утворює дві молекули пірвіноградної кислоти та пероксид водню. Молочна кислота (лактат) – продукт анаеробного метаболізму глюкози під дією лактатдегідрогенази. Лактатоксидаза каталізує окислення молочної кислоти до пірвата та пероксиду водню.

Реакції відбуваються за схемою, зображеною на рис. 3:

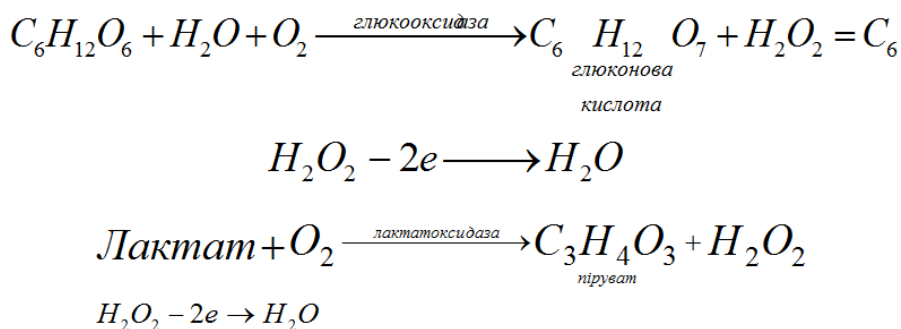


Рис. 3. Перетворення у ферментному аналізаторі глюкози та лактату під дією глюкозо- та лактатоксидазних мембран

Відбувається збільшення анодного струму, величина якого $0,8 \cdot 10^{-9} - 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ А}$. Швидкість наростання струму пропорційна концентрації глюкози або лактату. Принцип дії перетворювача заснований на перетворенні вхідного струму ферментативної реакції окислення глюкози, каталізованої глюкозооксидазою, або лактату, каталізованого ферментом лактатоксидазою, в напругу. Після перетворення проводиться диференціювання сигналу. Максимальна амплітуда напруги диференціатора фіксується піковим детектором у аналогово-цифровому перетворювачі.

З метою вибору умов проведення вимірювань необхідно було дослідити залежність відгуку сенсорів від рН, буферності розчину та його іонної сили, концентрації аналізованого розчину тощо.

В результаті досліджень було визначено способи калібрування датчиків, тривалість їх відмивання буферними розчинами, використання датчиків різних систем та похибки вимірювань. Встановлено, що при введенні у вимірювальну комірку стандартного розчину час відгуку датчика не перевищує 30 с при роботі з платиновим датчиком і 3,5 хв. при використанні більш дешевого датчика з нітриду кремнію (Si_3N_4). Повне відмивання комірки триває від 90 с при роботі з низькоконцентрованими розчинами до 4,5 хв при роботі з висококонцентрованими системами. Неповне відмивання осередку вимірювання призводить до спотворення результату наступного виміру на 15–20%.

Модельні розчини редукувальних речовин отримували шляхом інвертування високоякісного рафінованого цукру-піску за допомогою HCl. Методика інвертування сахарози та отримання робочих розчинів інвертного цукру різної концентрації наведена в Інструкції з контролю та обліку цукрового виробництва [1]. Модельні розчини молочної кислоти були виготовлені відповідно до рекомендацій [2].

Робочі розчини інвертного цукру з відомою концентрацією були проаналізовані на сенсорному аналізаторі, що має датчик із глюкозооксидазною мембраною. Результати вимірювань представлені в табл. 1.

Таблиця 1

**Вихідні дані для побудови градувального графіку
для визначення вмісту редукувальних речовин**

№ розчину	Концентрація редукувальних речовин, ммоль/дм ³	Показання приладу під час роботи з глюкозооксидазною мембраною, ммоль/дм ³
1	0,44	1,83
2	0,56	2,28
3	0,83	3,02
4	1,11	5,69
5	1,39	7,33
6	1,67	8,48
7	1,94	9,61
8	2,22	10,10
9	2,50	11,42
10	2,73	12,58
11	3,06	13,72
12	3,33	14,36

Отримані дані було оброблено методом найменших квадратів. Коефіцієнт кореляції становив $r = 0,987$. Математичні моделі залежності вмісту редукувальних речовин (Y) від показань приладу (X) мають вигляд:

$$Y = 0,0397X - 0,004, \text{ мг / см}^3; \quad (1)$$

де Y – вміст редукувальних речовин, мг/см³,
X – показання приладу, ммоль/дм³

та

$$Y = 0,21873X - 0,2584 \quad (2)$$

де Y – вміст редукувальних речовин, ммоль/ дм³,
X – показання приладу, ммоль/дм³

Робочі розчини молочної кислоти також проаналізували за допомогою сенсорного аналізу (датчик з лактатоксидазною мембраною). Результати вимірювань представлені в табл. 2.

Таблиця 2

**Вихідні дані для побудови градувального графіку
для визначення вмісту молочної кислоти**

№ розчину	Концентрація молочної кислоти, ммоль/дм ³	Показання приладу під час роботи з лактатоксидазною мембраною, ммоль/дм ³
1	0	1,44
2	1	1,48
3	3	1,54
4	6	1,55
5	9	1,89
6	12	2,08
7	15	3,42
8	18	5,05
9	21	6,78

Ці результати було опрацьовано методами математичної статистики. Коефіцієнт кореляції між концентраціями робочих розчинів і показаннями приладу дорівнює $r = 0,914$. Рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 4,69935X - 2,62955 \quad (3)$$

де Y – вміст молочної кислоти, мг/100 см³;

X – показання приладу, ммоль/дм³.

Визначення кількості сахарози, яка розкладалась в технологічному процесі, здійснюють за формулою:

$$П = K_1 \cdot K_2 \cdot 2 \cdot M_1 + K_3 \cdot K_4 \cdot M_2 \quad (4)$$

де $П$ – втрати сахарози внаслідок її розкладання, % до маси продукту;

K_1 – коефіцієнт перерахунку від кількості виміряної глюкози до кількості сахарози, що розкладалась, він дорівнює 1,9;

K_2 – коефіцієнт перерахунку глюкози від ммоль/дм³ до % до маси продукту, він дорівнює 0,018;

K_3 – коефіцієнт перерахунку від кількості виміряної молочної кислоти до кількості сахарози, що розкладалась, він дорівнює 1,35;

K_4 – коефіцієнт перерахунку молочної кислоти від ммоль/дм³ до % до маси продукту, він дорівнює 0,009;

M_1, M_2 – виміряні кількості глюкози і молочної кислоти в досліджуваному продукті з урахуванням калібровки приладу.

Після внесення у рівняння (4) постійних коефіцієнтів воно набуде вигляду:

$$П = 0,0684 \cdot M_1 + 0,01215 \cdot M_2 \quad (5)$$

з урахуванням калібрувальних рівнянь по кожній речовині визначення кількості сахарози, яка розкладалась в технологічному процесі, розраховується за формулою:

$$П = 0,06847(0,21873H_1 - 0,02584) + 0,01215(4,69935H_2 - 2,62955) \quad (6)$$

де H_1, H_2 – показання приладу при роботі з глюкозооксидазною та лактатоксидазною мембранами.

На Яготинському цукровому заводі у жовтні протягом декади були проведені паралельні дослідження неврахованих втрат, визначених за допомогою ферментного аналізатора і контрольним методом, що внесений в Інструкцію по контролю та обліку цукрового виробництва [1]. Результати цих визначень на дифузійній установці наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Результати випробувань ферментного аналізатора у виробничих умовах
Яготинського цукрового заводу**

№ з/п	Невраховані втрати сахарози на дифузійній установці, % до маси буряків, що визначені за допомогою		Різниця
	Аналізатора, оснащеного біосенсорами	Контрольного метода згідно з Інструкцією[1]	
1	0,122	0,122	0
2	0,128	0,134	0,006
3	0,179	0,145	-0,034
4	0,124	0,196	0,072
5	0,136	0,133	-0,003
6	0,172	0,185	0,013
7	0,142	0,126	-0,016
8	0,180	0,137	-0,043
9	0,206	0,179	-0,027
Середнє	0,154	0,151	1,98%

Дослідження на технологічних продуктах у виробничих умовах Яготинського цукрового заводу показали (табл. 3), що аналізатор дозволяє оперативно визначати зміни в складі продуктів, пов'язані з розкладанням сахарози. Різниця між втратами, що визначались контрольним методом та за допомогою приладу з ферментними біосенсорами, в середньому становить 1,98%. Це значення відповідає рівню похибок, отриманих іншими дослідниками.

Датчик з глюкозооксидазною мембраною чітко реагує на зміну редукувальних речовин: їх зміну по відношенню до вмісту в стружці при екстракції сахарози, розкладанні в процесі очищення, при випарюванні соків, вміст їх у мелясі. Датчик з лактатоксидазною мембраною показує збільшення концентрації молочної кислоти по потоку, дозволяє фіксувати зміну її вмісту при екстракції сахарози, в очищеному соку, сиропі та мелясі.

Проведені дослідження підтвердили, що ферментний аналізатор є чутливим індикатором контролю процесу розкладання сахарози в цукровому виробництві. Такий прилад може бути покладений в основу інструментального експрес-методу визначення неврахованих втрат в цукровому виробництві. Експрес-метод ґрунтується на вимірюванні продуктів розкладання: глюкози – датчиком з іммобілізованою мембраною глюкозооксидази, молочної кислоти – датчиком з іммобілізованою мембраною лактатоксидази.

Отримані на ферментному аналізаторі результати визначення втрат сахарози відповідають контрольному способу за допомогою колонок з іонообмінною смолою КУ-2 та визначення вмісту редукувальних речовин методом Мюллера [1].

Висновки.

1. Розроблено експрес-метод визначення втрат сахарози в цукровому виробництві, що ґрунтується на вимірюванні продуктів її розкладання: глюкози – датчиком з іммобілізованою мембраною глюкозооксидази, молочної кислоти – датчиком з іммобілізованою мембраною лактатоксидази.

2. Промислові випробування ферментного аналізатора, що були проведені на різних технологічних продуктах цукрового виробництва, показали, що аналізатор дозволяє оперативно визначати зміни в складі продуктів, пов'язані з розкладанням сахарози. Датчик з глюкозооксидазною мембраною чітко реагує на зміну редуковальних речовин: їх зміну по відношенню до вмісту в стружці при екстракції сахарози, розкладанні в процесі очищення, при випарюванні соків, вміст їх у мелясі. Датчик з лактатоксидазною мембраною показує збільшення концентрації молочної кислоти по потоку, дозволяє фіксувати зміну її вмісту при екстракції сахарози, в очищеному соку, сиропі та мелясі.

3. Математична обробка результатів досліджень та перевірка роботи приладу у виробничих умовах підтвердили адекватність лабораторних та промислових даних.

4. Такий прилад може бути покладений в основу промислового інструментального експрес-методу для безперервного моніторингу неврахованих втрат при проведенні основних процесів цукрового виробництва. Це дасть можливість коригувати параметри технологічних процесів з метою зменшення неврахованих втрат сахарози та витрат антисептиків у виробництві і дозволить збільшити вихід цукру на 0,1–0,2% до маси буряків за рахунок оперативності проведення вимірювань та підвищити ефективність виробництва.

5. Такий прилад для визначення продуктів розкладання сахарози можна використовувати для поточного технологічного контролю її втрат.

Бібліографія

1. Инструкция по химико-техническому контролю та учету сахарного производства. К.: ВНИИСП, 1983. С. 243–246.
2. Скорик К. Д., Нагорна В. О. Визначення вмісту молочної кислоти. Лабораторний практикум для працівників цукрових заводів. Навчальний посібник К.: Інститут підвищення кваліфікації і перепідготовки керівних працівників і спеціалістів харчової і переробної промисловості. 2001. С. 17–21.
3. Зайцев С. Ю., Калабина Н. А., Зубов В. П. Биосенсор на основе Ленгмюровских пленок глюкозооксидазы. Журнал аналитической химии. 1990. Т. 45. № 7. с. 1452–1455.
4. Иванова Е. А. Анализатор с ферментным электродом. М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1984. вып. 6. с. 7.
5. Diamandis E. P., Hadjiionnou T. P. Continuous-flow determination of reducing sugars and sucrose in natural and industrial products with periodate oxidation and a periodatesensitive flowthrough electrode. Analyst. 1982. V. 107. №1281. P. 1471–1478.
6. Мясоєдов Б. Ф., Давыдов А. В. Химические сенсоры: возможности и перспективы. Журнал аналитической химии. 1990. Т. 45. № 7. С. 1259–1278.
7. Лауринавичюс В. А. Определение лактозы в молоке ферментным электродом. Биохимический журнал. 1991. № 5. с. 818–819.
8. Кулис Ю. Ю., Лауринавичюс В. А. Определение органических соединений с применением ферментных анализаторов. Журнал аналитической химии. 1990. Т. 15. № 7. С. 1294–1303.
9. Золотов Ю. А. Химические сенсоры. Журнал аналитической химии. 1990. Т. 4. № 1. С. 1255–1258.
10. Day D. F., Sarkar D. Glucose electrode in the factory laboratory. Sugar Journal. 1987. V. 497. № 97. P. 18–20.
11. Солдаткин А. П. Глюкозный биосенсор на основе pH-чувствительных полевых транзисторов. Зависимость отклика биосенсора от состава анализируемого раствора. Журнал аналитической химии. 1990. т. 45. № 7. с. 1405–1409.

References

1. Instruksiya po khimiko-tekhničeskomu kontrolyu ta uchetu sakharnogo proizvodstva [Instructions on chemical and technical control and accounting of sugar production]. 1983. K.: VNIISP. pp. 243–246. [in russian].
2. Skoryk K., Nagorna V. 2001. Vyznachennya vmistu molochnoyi kysloty. Laboratornyy praktykum dlya pratsivnykiv tsukrovyykh zavodiv. [Determination of lactic acid content. Laboratory

workshop for sugar factory workers]. Study guide K.: Institute for advanced training and retraining of managers and specialists of the mining and processing industry. pp. 17–21. [in Ukrainian].

3. Zaitsev S., Kalabyna N., Zubov V. 1990. Biosensor na osnove Lengmyurovskikh plenok glyukozooksidazi. [Biosensor based on Langmuir films of glucose oxidase]. Journal of analytical chemistry. Vol. 45. № 7. pp. 1452–1455. [in russian].

4. Ivanova E. 1984. Analizator s fermentnim elektrodom. [Analyzer with enzyme electrode]. M.: TsNIITEIpishcheprom, Issue 6. p. 7 [in russian].

5. Diamandis E., Hadjiionnou T. 1982. Confinuous-flow determination of reducing sugars and sucrose in natural and industrial products with periodate oxidation and a periodate-sensitive flowthrough electrode. Analyst. V. 107. № 1281. pp. 1471–1478.

6. Myasoedov B., Davydov A. 1990. Khimicheskie sensori: vozmozhnosti i perspektivi [Chemical sensors: opportunities and perspectives]. Journal of analytical chemistry. V. 45. Issue 7. P. 1259–1278. [in russian].

7. Laurinavychus V. 1991. Opredelenie laktozi v moloke fermentnim elektrodom. [Determination of lactose in milk by an enzyme electrode]. Biochemical journal. № 5. pp. 818–819. [in russian].

8. Kulis Yu., Laurinavychus V. 1990. Opredelenie organicheskikh soedinenii s primeneniem fermentnikh analizatorov. [Determination of organic compounds using enzyme analyzers]. Journal of analytical chemistry. V. 15. Issue 7. pp. 1294–1303. [in russian].

9. Zolotov Yu. 1990. Khimicheskie sensori. [Chemical sensors]. Journal of analytical chemistry. V. 4. Issue 1. pp. 1255–1258. [in russian].

10. Day D., Sarkar D. 1990. Glucose electrode in the factory laboratory. Sugar Journal. V. 497. №. 97. R. 18–20.

11. Soldatkin A. 1990. Glyukoznii biosensor na osnove rN-chuvstvitelnykh polevikh tranzistorov. Zavisimost otklika biosensora ot sostava analiziruемого раствора [Glucose biosensor based on pH-sensitive field effect transistors. Dependence of the response of the biosensor on the composition of the analyzed solution]. Journal of Analytical Chemistry V. 45. Issue. 7. pp. 1405–1409. [in russian].