

Метрологія та вимірювальна техніка

УДК 623.004.67

К.В. Коваленко, А.М. Науменко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ДІЇ БІОДАТЧИКІВ

Аналізуються властивості та характеристики біодатчиків. Розглядається принцип дії біодатчиків, що базуються електрохімічних перетворювачах. Надається класифікація основних видів датчиків даного типу.

Ключові слова: біодатчик, біологічно-чутливий елемент, електрохімічний перетворювач.

Вступ

Постановка задачі. Потреба в датчиках стрімко росте у зв'язку з швидким розвитком автоматизованих систем контролю і управління, упровадження нових технологічних процесів, переходом до гнучких автоматизованих виробництв. Крім високих метрологічних характеристик біодатчики повинні володіти високою надійністю, довговічністю, стабільністю, малими габаритами, масою і енергоспоживання, сумісністю з мікроелектронними пристроями обробки інформації при низькій трудомісткості виготовлення і невеликій вартості. Цим вимогам в максимальному ступені задовольняють біодатчики.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1 – 7] розглядаються проблеми відсутності чіткого визначення біодатчика як засобу вимірювання, а також наводяться приклади та принципи дій відомих на даний момент вимірювальних приладів з електрохімічним перетворювачем, але в цій літературі не визначені питання, що пов'язані з дослідженням біохімічних вимірювальних приладів з електрохімічним перетворювачем.

Метою статті. Проаналізувати властивості та метрологічні характеристики біодатчиків, надати узагальнену класифікацію датчиків на основі біологічно-чутливих елементів, а також принцип побудови та дії датчиків й визначити шляхи подальшого їх застосування та удосконалення.

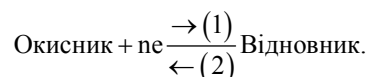
Основний матеріал

Біодатчик – це пристрій, що включає біологічно чутливий елемент, тісно пов'язаний з перетворювачем або інтегрований з ним. За звичай біодатчик призначений для формування цифрового електричного сигналу, що пропорційний концентрації певної хімічної сполуки або ряду сполук. В біодатчиках широко використовуються електрохімічні перетворювачі з потенціометричними, амперметричними, кондуктометричними та іншими ланцюгами.

Електрохімічний перетворювач являє собою провідник електричного струму, який поміщається в середовище, що досліджується. При цьому встановлюється електрохімічний процес, що пов'язаний з переносом зарядів між присутніми в середовищі зарядженими частинками й електрохімічним перетворювачем. На межі поділу середовище – перетворювач формується вихідний електричний сигнал (у вигляді струму чи напруги).

Принцип дії перетворювача з потенціометричним виходом оснований на визначенні різниці потенціалів, яка встановлюється між вимірювальним електродом і електродом порівняння. Електрод порівняння має постійний і відтворюваний потенціал, який не залежить від середовища, в яке він поміщений. Різниця потенціалів визначається активністю іонів електроліту, в який поміщений перетворювач. Визначаються окисно-відновні потенціали, рівень рН та іонів [7].

Окисно-відновні реакції, що протікають в розчині, супроводжуються обміном електронів (ne):



Речовина, що приєднує електрони в напрямку $\rightarrow(1)$, грає роль окисника і відновника. Речовина, що віддає електрони в напрямку $\rightarrow(2)$, грає роль відновника і окисника.

При розміщенні хімічно стійкої провідної нитки в розчин між провідником і речовинами – окисником і відновником – відбувається обмін електронами в двох напрямках, поки провідник не набуває рівноважного потенціалу.

Зазвичай електроди виготовляються з золота, платини, ртуті, срібла чи графіту (рис. 1) [7]. Наприклад, платинові електроди використовуються для вимірювання потенціалів від -0,1 до +0,9 В, золоті від -1 до +0,3 В.

Величина рН характеризує кислотність розчинів і визначається як від'ємний логарифм іонів вод-

ню H^+ . Принцип дії перетворювача рН базується на наступному.

Деякі типи скла являються слабким провідником електричного струму. Потенціал, який встанов-

люється на межі між мембраною з такого скла та водним розчином, залежить від кислотності розчину (рівняння Нернста) [7].

Конструкція рН-електрода показана на рис. 2.

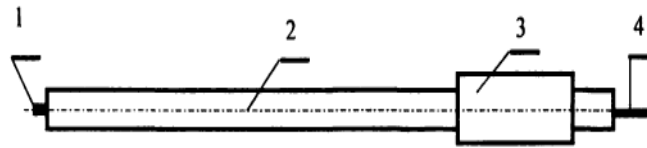


Рис. 1. Конструкція електрода для визначення окисно-відновлюваних потенціалів:
1 – чутливий елемент (платина, золото та ін.); 2 – скляний корпус; 3 – голівка; 4 – електричний вивід

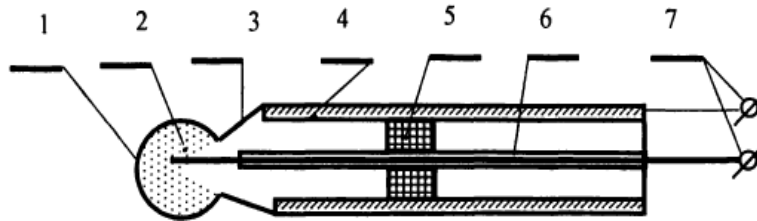


Рис. 2. Конструкція рН-електрода:
1 – скляна мембрана; 2 – розчин; 3 – корпус; 4 – екран;
5 – втулка; 6 – електрод порівняння; 7 – електричний вивід

До скляної мембрани 1 сферичної форми припаяна трубка-корпус 3 зі скла з високим електричним опором. Всередині електрода знаходиться розчин 2 з відомою кислотністю (за звичай $pH=7$), в який занурений електрод порівняння 6. Для вимірювання рН електрод занурюють в розчин, що досліджується, і вимірюють різницю потенціалів між внутрішнім електродом порівняння 6 та робочим електродом 1.

Принцип дії іоноселективних перетворювачів аналогічний рН-перетворювачу. Деякі полімери, скло, моно- та полікристали проявляють особливу чутливість до активності іонів лужних металів та інших речовин (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Ag^+ , Cu^+ , NH_4^+ , NO_3^- , ClO_4^- та ін.). Іоноселективні електроди формують електричний сигнал, що визначається активністю іонів. Активність іонів при постійній температурі залежить від концентрації іонів, що визначаються, їхнього заряду, а також від природи та концентрації сторонніх іонів, що присутні в розчині.

Робота амперметричних перетворювачів пов'язана з проходженням електричного струму у вимірювальному ланцюзі. Як правило, між двома електродами датчику (металевий електрод і електрод порівняння) створюється різниця потенціалів. Концентрація досліджуваних частинок пропорційна силі струму, яка виникає в електродному ланцюзі [7].

Серед амперметричних перетворювачів у біодатчиках поширений так званий «кисневий електрод» (рис. 3). Він складається з двох електродів різної полярності: платиновий катоду 1 та срібного аноду 4, вкритого хлоридом срібла. Електроди занурені в хлорид калію 3. Цей вимірювальний осередок відділений від досліджуваної речовини тонкою мембраною 2, що проникна для кисню.

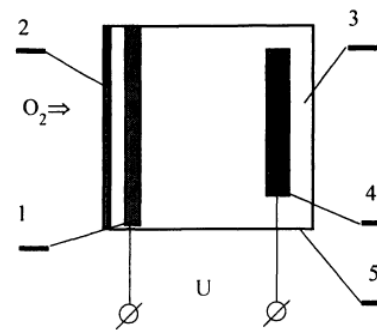


Рис. 3. Кисневий електрод:
1 – катод; 2 – мембрана; 3 – електроліт;
4 – анод; 5 – корпус

Електроди заряджають до різності потенціалів порядку 700мВ. Кисень дифундує крізь мембрану і відновлюється на катоді. Струм що обумовлений цією окисно-відновлювальною реакцією, пропорційний кількості відновленого кисню. Різновидом кисневого електрода являється так званий «паливний елемент (комірка)» [5]. В такій комірці електропровідний матеріал з великою поверхнею розташований між електролітом та атмосферним повітрям. В присутності кисню відбувається окиснення активної поверхні цього матеріалу з виділенням тепла. В результаті хімічної реакції з киснем повітря у вимірювальному осередку між катодом і анодом виникає напруга. Реакція протікає дуже швидко. Температурна компенсація здійснюється всередині осередку.

Кондуктометричні перетворювачі складаються з двох електродів, що виготовлені з хімічно стійких матеріалів. На електроди подається змінна напруга чи струм. Використання змінної напруги чи струму дозволяє зменшити вплив поляризаційних явищ на

межі поділу середовище-електрод. Вимірюючи напруження при відомому струмі або струм при відомій напрузі, розраховують провідність досліджуваного середовища.

Тип біодатчика визначається перш за все біологічним матеріалом його чутливого елемента. Тому в першу чергу слід розрізняти мікробні, ферментативні, клітинні та тканинні біодатчики [5].

Якщо мати на увазі різноманітність ферментів, що наявні та діють в живому організмі та являються потенційними біологічними перетворювачами, то слід відмітити, що існуюче на сьогодні число конструкцій біодатчиків може бути збільшене в десятки і навіть в сотні разів. Біодатчики отримують поширення у біотехнології. Хоча тут і зустрічаються певні труднощі, пов'язані з невисокою термічною стійкістю запропонованих пристроїв, що приводить до дезактивації біошару, є основи припускати, що даний недолік буде подоланий найближчим часом. Так, припускають, що для збільшення строку служби біодатчиків в зазначених вище умовах можна використовувати ферменти, виділені з термофільних бактерій та одноклітинних водоростей – мікроорганізмів, стійких до дії високих температур. Певні труднощі являють собою також проблеми градування біодатчиків та надійності їх показань. Для покращення останнього показника, зокрема, пропонується використовувати мультисенсорну систему, що складається з ряду біочіпів. Для отримання певної «снності» надійних даних проводиться розрахунок необхідного числа таких датчиків. Однак в цілому метрологічні характеристики біодатчиків цілком прийнятні. Відносно стандартне відхилення концентрації, що визначається, не вище 10 – 12%, при тому, що нижня межа вмісту речовин, що визначаються, досягає 10 – 15 моль/л. Деякі біодатчики працюють за принципом так – ні, що цілком прийнятно, коли вирішується питання про наявність ультра малих кількостей високотоксичних речовин в об'єктах навколишнього середовища. Як що компоненти, що визначаються, знаходяться в складній суміші, або матриці, або є близькими за своїми властивостями, то при аналізі використовують хроматографічні методи розділення. Контроль за

розділенням здійснюють за допомогою системи детекторів на основі біодатчиків. І тут отримані вражаючі результати: розділяють і кількісно визначають оптично активні ізомери, різні цукри (лактозу, фруктозу, глюкозу та ін.), складні за структурою біологічно активні сполуки і т. п.

На черзі створення біодатчиків, які замінюють рецептори живих організмів, що дозволить створити «штучні органи» смаку та нюху, а також застосувати вказані розробки для можливо більш точної та інформативної діагностики ряду захворювань.

Висновки

1. В статті проаналізовані властивості та характеристики біодатчиків, їх принцип дії та класифікація основних видів біодатчиків.

2. За результатами аналізу виявлено, що застосування біодатчиків надасть змогу створити штучні органи рецепторів чуття.

Список літератури

1. Алейников А.Ф. Датчики (перспективные направления развития): учеб. пособ. / А.Ф. Алейников, В.А. Гриднич, М.П. Цапенко; под ред. проф. М.П. Цапенко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 176 с.
2. Алейников А.Ф. Многофункциональные датчики / А.Ф. Алейников. – Новосибирск: СО РАСХН, 1991 – 36 с.
3. Алейников А.Ф. Создание новых средств измерений для АПК / А.Ф. Алейников. – Новосибирск: АОЗТ «Триана», 1993. – 160 с.
4. Алейников А.Ф. А с. 1523111, МКИ А 01 G 7 / 00 Устройство для измерения влажности и температуры / А.Ф. Алейников. – № 4171692/30-15; Опубл. 23.11.89.
5. Биосенсоры: основы и приложения: пер с англ. / под ред. Э Тёрнера, И. Карубе, Дж. Уилсона. – М.: Мир, 1992. – 614 с.
6. Грин Н. Биология: В 3 т. / Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор; под ред. Р. Сопера. – М.: Мир, 1996.
7. Датчики измерительных систем: В 2 кн. Кн. 2 / Ж. Аш, П. Андре, П. Дегут и др.; пер. с франц. – М.: Мир, 1992. – 424 с.

Надійшла до редколегії 17.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ БИОДАТЧИКОВ

К.В. Коваленко, А.Н. Науменко

Анализируются свойства и характеристики биодатчиков. Рассматривается принцип действия биодатчиков, которые основаны на электрохимических преобразователях. Приводится классификация основных видов датчиков данного типа.

Ключевые слова: биодатчик, биологически чувствительный элемент, электрохимический преобразователь.

ANALYSIS OF BASIC PRINCIPLES OF OPERATION BIOSENSORS

K.V. Kovalenko, A.N. Naumenko

In this article the properties and characteristics of biosensors are analyzed. Also under the consideration principle of operation of biosensor are, which based on electrochemical transducers. We adduce the classification of the main type of sensors of such kind.

Keywords: biosensor, biologically sensitive element, electrochemical transducer.