



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **106834** (13) **U**  
(51) МПК (2016.01)  
**G01N 27/00**

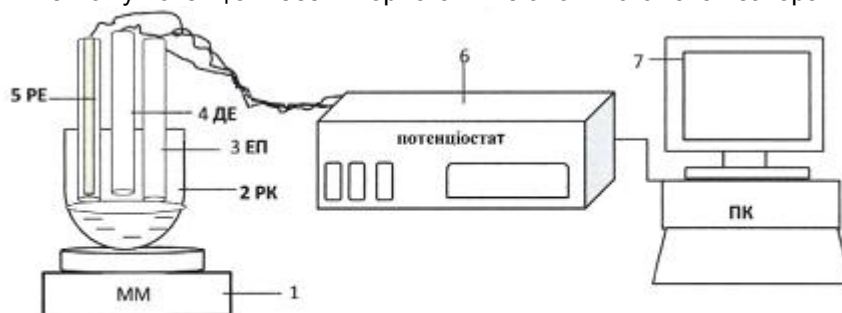
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2015 10803</b>	(72) Винахідник(и): <b>Гончар Михайло Васильович (UA), Демків Ольга Михайлівна (UA), Смуток Олег Володимирович (UA), Гайда Галина Зуфарівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>05.11.2015</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.05.2016</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.05.2016, Бюл.№ 9</b>	(73) Власник(и): <b>ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ КЛІТИНИ НАН УКРАЇНИ,</b> вул. Драгоманова, 14/16, м. Львів, 79005 (UA)

## (54) АМПЕРОМЕТРИЧНИЙ ХЕМОСЕНСОР ДЛЯ АНАЛІЗУ ФОРМАЛЬДЕГІДУ

### (57) Реферат:

Амперометричний хемосенсор для аналізу формальдегіду у стічних водах, фармацевтичних препаратах містить графітовий електрод. Поверхню електроду покривають електрохімічно осадженою платиною і з метою підвищення селективності до формальдегіду процес окислення проводять при низькому потенціалі без використання біологічного каталізатора та медіаторів.



Фіг. 1

UA 106834 U



Корисна модель належить до аналітичної хімії, зокрема, до галузі електрохімічного аналізу, призначена для кількісного аналізу токсичного формальдегіду у стічних водах, фармацевтичних препаратах, продуктах харчування тощо. А більш конкретно, конструювання амперометричного хемосенсорного електроду, здатного каталітично окислювати формальдегід.

Сьогодні, як ніколи, гостро постає потреба постійного моніторингу стану навколишнього середовища. Це пов'язано із значним розвитком хімічної промисловості та інтенсивним використанням різноманітних хімічних продуктів у різних галузях людської діяльності. Загальновідомо, що серед токсичних речовин, які забруднюють навколишнє середовище, особливе місце належить формальдегіду (ФА), тому він є важливим аналітом при моніторингу довкілля, контролю багатьох промислових товарів і медичних препаратів, а й повітря офісів, житлових приміщень і навіть харчових продуктів [1-3]. Особливо небезпечні властивості ФА, які зумовлюють генотоксичну, мутагенну і цитотоксичну дію, пов'язані із його здатністю утворювати ДНК-білкові поперечні зшивки [1, 4, 5]. Ефективне виявлення ФА вимагає розробки селективних, чутливих і експресних методів його аналізу.

На сьогодні в літературі описано низку підходів для кількісного та якісного аналізу ФА. Широко використовуються різноманітні фізико-хімічні та біохімічні методи: газова і рідинна хроматографія [6-7], флуорометричні [8], спектрофотометричні [9-11], полярографічні [12] та різні типи біосенсорів [13-16]. Для визначення вмісту ФА у воді використовують полярографічний спосіб, що включає полярографування аліквоти води на ртутному капаючому індикаторному електроді та визначенні концентрації ФА на підставі вимірювання висоти відповідної полярографічної хвилі [12].

Відомий також спосіб визначення ФА у воді колориметричним методом із застосуванням хромотропової кислоти (ХК) [17]. Він полягає у обробці аналізованої проби розчином динатрієвої солі ХК у концентрованій сірчаній кислоті та подальшому фотометруванні отриманого продукту. В аналізованій пробі попередньо визначають вміст фенолу, а вміст ФА розраховують за відповідним рівнянням. Спосіб характеризується високою точністю, але не володіє необхідною чутливістю ( $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ) і селективністю (заважає присутність фенолу).

На даний час, для аналізу ФА запропоновано декілька типів біосенсорів, які відрізняються як за природою біоелемента (клітинні, ензимні), так і за характером перетворювача: потенціометричні (зазвичай, на основі рН-залежних польових транзисторів), кондуктометричні, амперометричні [11, 13-16].

Сучасні стандартні методи високоточного визначення ФА, згадані вище, потребують: наявності кваліфікованого персоналу та складного і дорогого обладнання [7-9]. Ще одним недоліком існуючих методів аналізу ФА є необхідність у складній попередній підготовці проб, що спричинює великі затрати часу та коштів. Отже, сьогодні постає актуальна проблема створення більш зручного, точного, селективного, швидкого методу визначення вмісту ФА в стічних водах та різноманітних промислових продуктах. В останніх роботах описано електрохімічні сенсори з основою наночастинок Pt-Pd, нанесених на поверхню електроду [18]. Лінійний діапазон визначення ФА - до  $10 \text{ }\mu\text{M}$ , з межею детекції  $3 \text{ }\mu\text{M}$  [18]. Використання наноматеріалів у нових сенсорних технологіях дозволяють розробити прості і швидкі методи аналізу ФА in vivo [19].

На сьогодні авторам не відомі прості, швидкі та дешеві конструкції амперометричних хемосенсорів, які володіють високою стабільністю та селективністю до ФА.

Близьким до запропонованої корисної моделі є амперометрична сенсорна система визначення ФА. Наприклад, описано визначення ФА у водних розчинах за використання сенсора, основою якого є поєднання платинових наночастинок з поліаніліном, який покриває вуглецеві нанотрубки на поверхні графітового електроду [20]. Лінійний діапазон - сенсора  $10^{-9}$  до  $10^{-3} \text{ M}$ , діапазон чутливості -  $4,6 \cdot 10^{-11} \text{ M}$ , що переважає відомі аналоги [20].

Близькими до запропонованої корисної моделі для аналізу ФА є також ензимні біосенсори. Наприклад біосенсор, що містить фермент формальдегідтрансмутази, іммобілізовану на рН-чутливій поверхні або на сферичних частинках в реакторі в поєднанні з електрохімічним перетворювачем [21]. Відомі інші амперометричні біосенсори із використанням ферменту формальдегіддегідрогенази [13, 16, 22] та різних електрохімічних медіаторів перенесення електронів від NADH на електрод. Використання ензимів дозволяє підвищити селективність біосенсорів. Проте цей підхід має низку недоліків, основні з яких: необхідність у використанні ферментів або додаткових реагентів (що приводить до їх високої вартості), недостатня стабільність (операційна та при зберіганні), що зумовлює необхідність у розробці нових простих, дешевих та високо селективних аналітичних методів визначення вмісту ФА.

Під час патентно-інформаційних досліджень автори не виявили простих, дешевих, селективних та стабільних конструкцій амперометричних хемосенсорів, які були б придатними для аналізу ФА в стічній воді, фармацевтичних препаратах та харчових продуктах.

Основою запропонованої корисної моделі є створення простого амперометричного хемосенсора, який не потребує використання дорогих ферментів чи додаткових реагентів. є селективним, стабільним та придатним для аналізу ФА в реальних зразках. Поставлена проблема розв'язується особливою технологією приготування амперометричного хемосенсора, а саме: формуванням на поверхні графітового електрода чутливої мембрани методом платинізації. без використання додаткових елементів та великих затрат часу. Принцип амперометричної детекції ФА полягає у генерації струму на поверхні робочого електрода в процесі окислення ФА на електроді. Для конструювання хемосенсора служить окислення ФА на електроді відполірований промитий графітовий електрод. Для створення чутливої мембрани сенсора на поверхні електрода, його занурювали в комірку з водним розчином гексахлорплатинової кислоти 6 мг/мл і проводили електрохімічне осадження платини за допомогою циклічної вольтамографії (0,4-0,6 В з швидкістю 20 мВ/с, 3-4 повних цикли) в електрохімічній комірці. Після платинізації електрод промивали 50 мМ розчином фосфатного буферу, рН 8,0 та використовували для аналізу.

Запропонований варіант моделі хемосенсора ґрунтується на принципі окислення ФА до мурашиної кислоти на поверхні електрода за каталізу платиною, осадженою на поверхні електрода. Амперометрична детекція ФА полягає у вимірюванні струму генерованого в процесі окислення ФА.

Суть запропонованої корисної моделі пояснюється графічними матеріалами, де:

на Фіг. 1 схематично показано амперометричну хемосенсорну систему для визначення концентрації ФА у розчинах;

на Фіг. 2 показано динаміку розвитку сенсорного сигналу при поступовому внесенні ФА та діапазон лінійності відгуку для амперометричного хемосенсора;

на Фіг. 3 наведено діаграму відгуку хемосенсора для ФА та супутніх аналітів: метанол, фенол при різних потенціалах.

Амперометрична хемосенсорна система для визначення концентрації ФА в розчині (Фіг. 1) складається з магнітної мішалки 1 (ММ), робочої комірки 2 (РК) для досліджуваного розчину та амперометричного хемосенсора у триелектродній конфігурації: срібло-хлорсрібний  $\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}$  (3М) - як електрод порівняння 3 (ЕП); стержневий платиновий електрод - допоміжний 4 (ДЕ) та робочий електрод 5 (РЕ), сформований на основі графітового стержня (RW001, діаметр 3,05 мм, RingsdorffWerke, Бонн, ФРН), поміщеного в скляну трубку і герметично залитого епоксидним клеєм. Амперометричні вимірювання проводили при кімнатній температурі у скляній робочій комірці об'ємом 50 мл, заповненій 10 мл 20 мМ фосфатного буферу, рН 8,0. Хемосенсор поміщали в інтенсивно перемішуваний розчин і, після встановлення базового сигналу, в комірку вносили певний аналіт (ФА, його аналоги, розведені реальні зразки). Магнітна мішалка, яка забезпечує підтримання однорідного концентраційного поля в комірці, використовувалась протягом усього часу роботи сенсорів. Отримувані результати вимірювань реєстрували та обробляли у відносних одиницях зміни струму за допомогою потенціостату (6 ПС) CH 1200A (IJ Cambria Scientific Ltd, UK), з'єднаного з персональним комп'ютером (7 ПК), через порт RS232.

На основі концентраційної залежності, поданої на Фіг. 2, показано, що для сенсора максимальна відповідь становить  $323 \pm 36$  мкА. Константа півнасичення ( $K_s$ ) для ФА складає  $10,7 \pm 2,4$  мМ. Діапазон лінійності сконструйованого хемосенсора складає 0,25-2,5 мМ ФА, чутливість -  $5600 \text{ A} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  (Фіг. 2). Швидкість відгуку сенсора на аналіт (50 % від відповіді в стаціонарному стані насичення) досягається за 3 с, а 90 % відповіді - на 12-ту секунду вимірювання ФА. Сконструйований хемосенсор володіє високою стабільністю при зберіганні (зберігали електрод при  $4^\circ\text{C}$  у 20 мМ фосфатному буфері, рН 8,0), падіння сигналу спостерігалось в 1,4 рази (на 40 %) на 20-у добу, чого не досягається при використанні ензимних або клітинних сенсорів [13, 16, 22].

Одним із найважливіших біоаналітичних параметрів амперометричних сенсорів є селективність. Для вивчення селективності хемосенсора проведено вивчення відгуку сенсора на інші супутні до ФА речовини (Таблиця 1). Вимірювання проводилися в 20 мМ фосфатному буферному розчині, рН 8,0. У комірку вносили тестовані речовини в концентрації 20 мМ (Таблиця 1), при цьому за 100 % було прийнято відгук для хемосенсора на 20 мМ ФА.

Таблиця 1

## Селективність хемосенсора для аналізу ФА

Аналіт, 20 мМ	Відносний відгук, (%)
ФА	= 100
Метанол	80
Етанол	10
масляний альдегід	14
ацетальдегід	5
метилгліоксаль	3

Розроблений хемосенсор володіє достатньо високою селективністю до ФА, оскільки спостерігаються низькі відгуки на масляний альдегід (14 %), етанол (10 %), ацетальдегід (5 %), метилгліоксаль (3 %) при потенціалі +200 мВ і тільки метанол (близький структурний аналог ФА) дає значний сигнал (80 %).

Отже, при робочому потенціалі хемосенсор дає суттєвий відгук на метанол, проте при зниженні робочого потенціалу до 0 мВ різко зменшується неспецифічний відгук на метанол (20 %) при збереженні високого сигналу на ФА, суттєве зменшення величини відгуку сенсора на спирти при збереженні високої чутливості до ФА дає можливість досить селективно визначити вміст ФА в реальних зразках.

У навколишнє середовище ФА потрапляє з промисловими та комунальними стоками, саме тому визначення його концентрації у стічних водах є важливим аналітичним завданням. Оскільки в стічних водах, як правило, крім ФА, присутні метанол, фенол та інші токсичні речовини, було досліджено його відгук на ФА, метанол та фенол (при концентрації аналітів 2,5 мМ) при низьких потенціалах (0 мВ, -50 мВ, +50 мВ) (Фіг. 3). Відгук на метанол при потенціалі -50 мВ є в 1,9 та 2,1 рази нижчий в порівнянні з потенціалами 0 мВ та + 50 мВ та становить 12,5 %, 11,9 % та 8 % від відгуку на ФА при (+50 мВ, -50 мВ, 0 мВ відповідно). У той же час, відгук на фенол при різних потенціалах зовсім не спостерігається, що дуже важливо, оскільки фенол часто присутній у стічних водах підприємств, пов'язаних із виробництвом та застосуванням (Фіг. 3). Отже, для аналізу ФА в промислових стоках, слід використовувати робочий потенціал 0 мВ.

За допомогою хемосенсорної системи проводили аналіз ФА в модельних зразках промислових стоків. Хемосенсорний аналіз вмісту ФА здійснювали методом множинних додавань стандарту на модельних та реальних зразках промислових стоків із екзогенним внесенням ФА, метанолу та фенолу (Таблиця 2).

Отримані результати аналізу ФА хемосенсорним методом порівнювали з результатами визначення вмісту ФА ензиматичним методом за використання формальдегіддегідрогенази (ФдДГ-методу) [23] та хімічними підходами із використанням 3-метил-2-бензотіазолінонгідрозону (МВТГ) [24] та хромотропової кислоти (ХК) [9,17] у вище згаданих модельних зразках промислових стоків (Таблиця 2). На підставі калібрувальних графіків залежності оптичної густини від вмісту ФА в пробі, визначали концентрацію аналізу. Як видно з результатів хемосенсорного аналізу (Таблиця 2), вміст ФА становив: 373 мМ, 337 мМ, 378 мМ, 410 мМ, відповідно, у модельних зразках стічних вод з екзогенним додаванням супутніх речовин: ФА; ФА + метанол; ФА + фенол; ФА + метанол + фенол, що корелює із результатами визначення ФА за використання інших підходів (ензиматичного та хімічних).

Таблиця 2

Результати аналізу ФА мМ за допомогою хемосенсорного, ензиматичного та хімічного методів

Зразок	Методи			
	Хімічні			Ензиматичний
Стічні води з екзогенним додаванням супутніх до ФА речовин:	Хемосенсорний	ХК	МБТГ	ФдДГ-метод
Концентрація ФА, мМ				
ФА(I)	373±19	360±6	360±7	359±9
ФА метанол (II)	337±19	390±12	336±17	314±12
ФА фенол (III)	378±4	420±9	399±16	415±17
ФА метанол фенол (IV)	410±11	410±11	390±16	406±17
Середнє значення вмісту ФА	374±14	373±23	395±13	371±14

Кореляційний зв'язок між результатами визначення ФА хемосенсорним, хімічним (із використанням МБТН) та ензиматичним методами має достовірно лінійний характер з коефіцієнтом кореляції 0,85. У той же час, кореляційний зв'язок хемосенсорного методу з хімічним (за використанням ХК) є помірним (0,4). Це пояснюється суттєвим інтерферуючим впливом фенолу на результати аналізу ФА за використанням ХК, що призводить до необхідності попередньої дистиляції зразків (для відгонки ФА від фенолу в лужних умовах) [9,17]. В цілому, запропонована амперометрична хемосенсорна система виявилася достатньо селективною до ФА і може використовуватись для аналізу ФА в різних промислових продуктах.

Це ілюструється прикладами аналізу ФА в препаратах промислового формаліну та дезінфікуючого засобу "Санодез Форте" виробника ТзОВ "ДезоМарк" (Таблиця 3). Оскільки ФА - дуже хімічно активна сполука, здатна вступати у взаємодію із різними компонентами реальних зразків, аналіз проводили методом множинних додавань стандарту, а розрахунок концентрації ФА проводили за отриманими калібрувальними графіками. Як видно з таблиці 3, вміст ФА в аналізованому зразку формаліну складає близько 13,64±1,0 М. Для тестування дезінфікуючого засобу було відібрано серійний зразок препарату "Санодез Форте" із вмістом ФА на рівні 2,59 М (7,6 г ФА на 100 г препарату; густина 1,05 г/см<sup>3</sup>), зазначеними виробником. Використано амперометричний хемосенсор для аналізу ФА в дезінфікуючому засобі "Санодез Форте" і показало хорошу відповідність між отриманими аналітичними результатами та даними виробника (різниця +2,3 %). В ході хемосенсорного аналізу встановлено, що вміст ФА у "Санодез-форте" складає 3,65 М, а у формаліні - 13,64 М, що добре корелює із результатами визначення ФА за використання інших підходів - хімічного та ензиматичного (Таблиця 3).

Таблиця 3

Результати визначення вмісту ФА в промислових продуктах хемосенсорним, ензиматичним та хімічними методами

Зразки	Методи визначення концентрація ФА, М				
	Ензиматичний	Хімічні			Хемосенсорний
	ФдДГ	ХК	МБТГ	"Пурпальд"	Хемосенсор
Формалін	13,5±2,1	14±2,4	12,6±2,1	12,93±1,9	13,6±1,8
Санодез Форте	3,22±0,6	3,59±0,9	3,57±0,8	3,3±0,5	2,7±0,48
Посилання	Демків і співавтори [13, 22, 23]				Дана заявка на корисну модель

Порівняльний аналіз хемосенсорного методу з ензиматичним методом (ФдДГ [23]) та хімічними методами визначення вмісту ФА (із використанням МБТГ, ХК та "Пурпальду") у промислових продуктах представлено в таблиці 3. Дані, отримані хемосенсорним методом, добре корелюють із результатами визначення вмісту ФА ензиматичним методом з контрольними (хімічними) методами. Кореляційний зв'язок між результатами визначення ФА сенсорними та хімічними методами має достовірно лінійний характер. Відповідні коефіцієнти кореляції між результатами тестованого методу порівняно з хімічними методами вищі ( $R=0,998-0,999$ ) при високій достовірності таких зв'язків ( $p<0,001$ ).

Порівняно з відомими методами аналізу ФА, пропонується амперометричний хемосенсорний метод аналізу ФА має такі переваги:

короткий час конструювання хемосенсора, а саме його, чутливої мембрани;

при конструюванні хемосенсора не потрібне використання ферментів, додаткових медіаторів та кофакторів, що знижує його собівартість.

коротший час проведення аналізу;

аналіз проводиться за використання низьких величин робочого потенціалу (що важливо при аналізі складних реальних зразків адже при цьому знижується інтерферуючий вплив компонентів зразка);

достатньо висока селективність аналізу та нечутливість до інтерферуючої дії багатьох сполук (можливість виключити громіздку процедуру дистиляції проб);

відсутність шкідливих для здоров'я дослідника операцій, наприклад, нагрівання в концентрованій кислоті при визначенні ФА за допомогою ХК.

Джерела інформації:

1. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans) [Електронний ресурс] / IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. -2006. -V. 88. -P. 39-287. Режим доступу: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/mono88-6A.pdf>.

2. Otson R. Volatile organics in the indoor environment: sources and occurrence / R. Otson, P. Fellin // In: Nriagu J.O. (Ed.). Gaseous Pollutants: Characterization and Cycling, John Wiley and Sons, Inc., New York. - 1992. - P. 335-421.

3. Khoder M.I., Shakour A.A., Farag S.A., Abdel Hameed A.A. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes in residential areas in Greater Cairo // J. Environ. Monitor. - 2000. - V. 2. - P. 123-126.

4. Monticello T.M., Swenberg, J.A., Gross, E.A. Correlation of regional and nonlinear formaldehyde-induced nasal cancer with proliferating populations of cells. // Cancer Res. - 1996. - V. 56, - P. 1012-1022.

5. Szende B., Tyihak E., Szokan G., Katay G. Possible role of formaldehyde in the apoptotic and mitotic effect of 1-methylascorbigen. // Pathol. Oncol. Res. 1995. - V. 1. - P. 38-42.

6. Kaminski J., Atwal A.S., Mahadevan S. Determination of formaldehyde in fresh and retail milk by liquid column chromatography // The Journal of AOAC international. - 1993-V. 76, № 5. - P. 1010-1013.

7. Dumas T. Determination of formaldehyde in air by gas chromatography. // J. Chromatogr. 1982. - V. 247. - P. 289-295.

8. Губен Г. Методы органической химии / Г. Губен, Т. Вейль Методы анализа. - 2-е изд. Т. 2. - М.: Химия, 1967. - С. 461-462.

9. Сибирный В.И., Гончар М.В., Рябова О.Б., Майдан М.М. Современные методы анализа формальдегида, метанола и этанола. // Микробиол. Журнал. - 2005. - Т. 67, № 4. - С. 85-110.

10. Sibirny V.A., Gonchar, M.V., Grabek-Lejko, D., Csoregi, E., Pavlishko, H.M., Sibirny, A.A. Photometric assay of methanol and formaldehyde in industrial waste-waters using alcohol oxidase and 3-methyl-2-benzothiazolinone hydrazone. // Intern. J. Environ. Anal. Chem. - 2008. - V. 88. № 4. - P. 289-301.

11. Nur Indang M., Abdulamir A.S., Abu Bakar A, Salleh A.B., Lee Y.H. and Y. Nor Azah. A review: Methods of determination of health-endangering formaldehyde in diet. // Res. J. Pharmacol.-2009. - V.3 № 2. - P. 31-47.

12. Резнік Т.С., Твердохліб С.П., Окішев О.М., Ляцова М.Г., Неловко Д.В., Рубашко В.М. Деклараційний патент на корисну модель. Спосіб полярографічного визначення формальдегіду у воді. UA № 11190 МПК GO1N27/48. - Подано: 06.06.2005. - Опубліковано: 15.12.2005, Бюл. № 12, 2005 р.

13. Sibirny V., Demkiv O., Sigawi, S., Paryzhak S., Klepach H., Korpan Y., Smutok O., Nisnevich M., Gayda G., Nitzan Y., Puchalski C., Gonchar, M. Formaldehyde Oxidizing Enzymes and Genetically Modified Yeast Hansenula polymorpha Cells in Monitoring and Removal of Formaldehyde. In: Waste Water-Evaluation and Management (ed. F. S. G. Einschlag), ISBN 978-953-307-233-3. - 2011. InTech Open Access Publisher, Rijeka, Croatia, Ch. 6. pp. 115-54.

14. Korpan Y.I., Gonchar M.V., Sibirny A.A., Martelet C, El'skaya A.V., Gibson T.D., Soldatkin A.P. Development of highly selective and stable potentiometric sensors for formaldehyde determination. // Biosens. Bioelectron. - 2000. - V.15. - P. 77-83.

15. Vianello F., Boscolo-Chio R., Signorini S. On-line detection of atmospheric formaldehyde by a conductometric biosensor. // Biosens. Bioelectrons. - 2007. - V. 22. № 6. - P. 920-5.

16. Demkiv O., Smutok O., Paryzhak S., Gayda G., Sultanov Y., Guschin D., Shkil H., Schuhmann W., Gonchar M. Reagentless amperometric formaldehyde-selective biosensors based on the recombinant yeast formaldehyde dehydrogenase // *Talanta*. - 2008. - V. 76, N 4. - P. 837-846.

17. Беляева Л.С., Бойко Н.М., Орлікова В.П., Жадан О.О., Колчина Г.О. Деклараційний патент на винахід. Спосіб кількісного визначення формальдегіду. UA № 37538. - Подано: 17.08.1999. - Опубліковано: 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

18. Zhou Z. L., Kang T. F., Zhang Y., Cheng S. Y. Electrochemical sensor for formaldehyde based on Pt-Pd nanoparticles and a Nafion-modified glassy carbon electrode // *Microchim. Acta*. - 2009. - V. 164. - P. 133-138.

19. Jianrong C., Yuqing M., Nongyue H., Xiaohua W., Sijiao L. Nanotechnology and biosensors // *Biotechnol. Adv.* - 2004. - V. 22, № 7. - P. 505-518.

20. Jin G.P., Li J., Peng X. Preparation of platinum nanoparticles on polyaniline-coat multi-walled carbon nanotubes for adsorptive stripping voltammetric determination of formaldehyde in aqueous solution // *J. Appl. Electrochem.* - 2009. - V. 39. P. 1889-1895.

21. Kuehn M., Rodewyk B., Bryniok D. Bio-sensor system for quantitative determination of formaldehyde using immobilised formaldehyde-dismutase enzyme and means for indicating the resulting pH change. Patent. Electronic Publication. Patent Number DE 1997-19728663 A: 19970704 IPC.C12Q0001.

22. Gayda G., Demkiv O., Gonchar M., Paryzhak S., Schuhmann W. Recombinant formaldehyde dehydrogenase and gene-engineered methylotrophic yeasts as bioanalytical instruments for assay of toxic formaldehyde // In the Book "Algal Toxins: Nature, Occurrence, Effect and Detection". Series: NATO Science for Peace and Security. Subseries: NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology. - Evangelista, V.; Barsanti, L.; Frassanito, A.M.; Passarelli, V.; Gualtieri, P. (Eds.). - 2008, VIII, 400 p., ISBN: 978-1-4020-8478-2. - P. 311-333.

23. Демків О.М., Гайда Г.З., Гончар М.В. Ензиматичний метод визначення вмісту формальдегіду з використанням формальдегіддегідрогенази рекомбінантних дріжджів *Hansenula polymorpha* // "Укр. біохім. журн." - 2009. - Т. 81, N 6. - С. 111-120.

24. Avigad, G. A simple spectrometric determination of formaldehyde and other aldehydes: application to periodate oxidized glycerol systems // *Anal. Biochem.* - 1983. - V. 134 № 2. - P. 499-504.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Амперометричний хемосенсор для аналізу формальдегіду у стічних водах, фармацевтичних препаратах, що містить графітовий електрод, який відрізняється тим, що поверхню електроду покривають електрохімічно осаждженою платиною і з метою підвищення селективності до формальдегіду процес окислення проводять при низькому потенціалі без використання біологічного каталізатора та медіаторів.

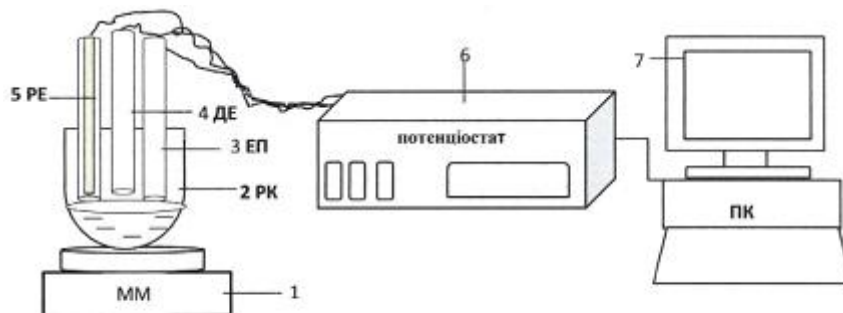


Fig. 1



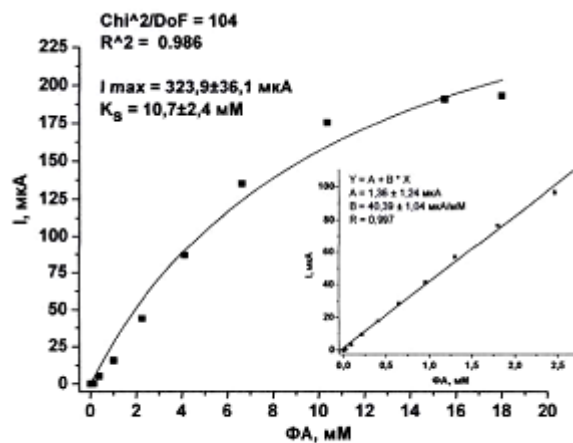


Fig. 2

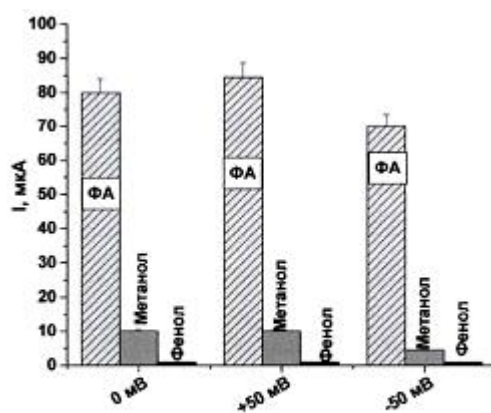


Fig. 3

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601