

DOI: [10.18372/2410-7840.23.15431](https://doi.org/10.18372/2410-7840.23.15431)

УДК 004:591.5:612:616-006

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА З БІОСЕНСОРОМ ТА ЗАХИСТОМ ДАНИХ: РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНИХ НАПРЯМКІВ

*Олена Ключко*

*Метою виконаної роботи є детальний аналіз можливостей розробки специфічних способів захисту даних у інформаційних системах, реалізованих із застосуванням технічних пристроїв – біосенсорів. Вони є інкорпорованими до інформаційних систем як їх елементи та пов'язані функціонально завдяки електричним сигналам на виході біосенсорів; у публікації аналізуються специфічні можливості кодування інформації у такій комплексній системі. У процесі роботи були застосовані методи фізичного моделювання біосенсорів як елементів інформаційних систем, розробки інформаційної системи моніторингу із базами даних, методики компаративного аналізу характеристик вхідних та вихідних електричних інформаційних сигналів біосенсора. Розглянуто поняття біосенсорів та їх властивості, у тому числі у експериментальній системі із реєстрацією вихідних електричних інформаційних сигналів, властивість кодування інформаційних сигналів таким біотехнічним пристроєм та ряд інших. Розроблена фізична модель та наведені деякі результати випробування пристрою. Коротко розглянуто функції нейроподібного біосенсора: приймач вхідних інформаційних сигналів – фільтр – аналізатор – кодер/декодер. Показано у табличному вигляді відповідність інформаційних сигналів на вході біосенсора (хімічні сигнали) та після кодування на виході (електричні сигнали). Як приклад розглянута інформаційна система із базами даних та біосенсорами для моніторингу наявності та ідентифікації шкідливих хімічних речовин у доквіллі аеропортів. Результати виконаної роботи можуть створити нові можливості для захисту даних у інформаційних системах.*

**Ключові слова:** інформаційна система, біосенсор, фізична модель, захист інформації, кодування.

### ВСТУП

Одним із прогресивних напрямків сучасних науки, техніки та виробництва вважається поєднання штучно створених технічних систем та систем органічної природи на основі новітніх інформаційно-комп'ютерних технологій (ІКТ). Створення таких гібридних систем дозволяє долати ряд проблем, які не знаходять свого вирішення у рамках обмеженого спектру знань однієї галузі; і закон Мура є тільки одним із прикладів таких обмежень [1]. Відповідно до класичного визначення поняття "інформаційна система" (ІС) означає будь-яку систему, яка здатна приймати, обробляти, запам'ятовувати та передавати інформацію [1-7]. Погоджуючись із класичними уявленнями кібернетики ми виділяємо два типи інформаційних систем [1-3]. Отже, згідно ним "інформаційна система" може означати: 1 - технічні інформаційні системи, відповідно "тІС" ("tIS") (технічні інформаційні системи) і 2 – відкриті інформаційні системи в природі, ми пропонуємо назвати їх "нІС" ("nIS") (природні інформаційні системи). За останнє десятиліття також були розроблені гібридні ІС; вони об'єднують характери-

стики нІС та тІС [1]. У даній публікації мова йде саме про такі інформаційні системи, до розробки яких було долучено автора.

Поєднання в одну комплексну систему технічних інформаційних систем (тІС) та природних (відкритих) інформаційних систем (нІС), наприклад біосенсора, є надзвичайно потужним прийомом, оскільки утворений інформаційний комплекс поєднує у собі можливості та переваги кожного із складових елементів. У нашому розглянутому нижче випадку, елементом нІС є нейроподібний біосенсор (НБС), описаний нами у попередніх публікаціях [1, 8, 9]. За класичними уявленнями, НБС складається із біологічного фрагменту (БФ) та відповідної електронної системи (див. рис.1).

При поєднанні біосенсора НБС із тІС утворюється комплексна інформаційна система із базами даних (БД), яка є мережевою, найчастіше із виходом у глобальну мережу Інтернет. При цьому нейроподібний біосенсор НБС сам по собі демонструє можливості кодування інформації, невід'ємно закладені у ньому природою. Достат-

ньо привабливою є ідея для інформаційної безпеки у такій системі паралельно із уже застосованими засобами, використати ті можливості, які надає елемент НБС природного або штучного походження. Саме проблемам захисту даних у ІС та їх вирішенню за допомогою окреслених підходів і присвячений наведений нижче матеріал статті. Теоретичні положення та практична їх реалізація проілюстрована на прикладі ІС із БД, яка розроблялась автором та колегами для виконання функцій моніторингу хімічних забруднень у районах аеропортів, інших авіапідприємств, є придатною для вирішення відповідних задач у промислово-забруднених регіонах України.

Наведені у статті дані тестування пристрою були отримані як результат фізичних вимірювань у експериментах на нейронах мозку, виконаних автором на базі Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця Національної Академії Наук України; ці результати у подальшому були оброблені та проаналізовані у Національному авіаційному університеті (Київ).

Метою виконаної роботи є детальний аналіз можливостей розробки специфічних способів захисту даних у інформаційних системах, реалізованих із застосуванням технічних пристроїв – біосенсорів, інкорпорованих до інформаційних систем як їх елементи, функціонально пов'язані завдяки електричним сигналам на виході біосенсорів, а також проаналізувати специфічні можливості кодування інформації у такій системі.

У наш час захист інформації є одним з основних факторів для нормальної роботи підприємства. Будь-яка інформація, що циркулює всередині між співробітниками, може бути потенційно вразливою. Найбільш складнішою для захисту, є акустична інформація. Акустичні хвилі, які створюються людською мовою, впливають на огорожувальні конструкції приміщення (перегородки, стіни, перекриття, вікна, двері) та інженерні системи (трубопроводи, вентиляцію), передаючи їм частину своєї енергії. Виникаючи в конструкціях коливання, незважаючи на свою слабкість, можуть бути перехоплені і посилені спеціальними приладами (наприклад, електронними стетоскопами або лазерними мікрофонами). Банальна

бесіда під час робочого процесу, між рядовими співробітниками, може привести до небажаних наслідків, якщо вона буде почута зловмисниками.

Необхідність проведення заходів щодо захисту приміщень від витоку мовної інформації через акустичні і віброакустичні канали, є однією з основних задач в плані захисту інформації.

Зазвичай, для усунення просочування інформації по акустичному каналу, застосовують або звукоізоляцію, або генератори корельованих акустичних перешкод.

У першому випадку (пасивний метод) потрібні значні витрати часу на проведення робіт по звукоізоляції. Крім того, залишаються проблемні ділянки приміщення (вікна, двері, повітропроводи і тому подібне) і віброакустичні канали витоку (системи опалювання, водопостачання, каналізації і так далі). У другому випадку (активний метод) наявність генераторів шуму створює дискомфорт при проведенні переговорів. Саме випромінювання є демаскуючою ознакою, що полегшує зловмисникам визначити час і місце переговорів.

Метою даної роботи є розробка системи акустичного захисту з використанням активного звукопридушення (АЗ).

### **ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

Електронні інформаційні системи та біосенсори: їх потенційні можливості захисту інформації. Протягом останніх років усе більшу увагу розробників інформаційних систем приваблюють спеціалізовані ІС, для яких джерелом вхідної інформації є біосенсори різних типів. Однією із цікавих особливостей біосенсорів є те, що із їх допомогою може бути реалізовано захист інформації у ІС. Одним із шляхів досягнення цього є створення штучних аналогів природних біосенсорів. Будучи схожими на пластинки невеликого розміру (реальні або віртуальні), вони можуть містити інформацію, записану у структурах органічних хімічних сполук із заданими електромагнітними властивостями та заданим набором функцій. Розробляються шляхи їх можливого застосовувати для вирішення задач захисту інформації у інформаційних системах. Так, наприклад, за їх допомогою та за потребою можна відключати цілі сегменти інформаційних систем,

або контролювати у них інформаційні потоки й процеси. Нижче наведені дані щодо біосенсорів, як елементів ІС із БД, які розкривають суть описаних підходів.

Біосенсор та деякі його властивості. Охарактеризуємо коротко вживані нижче поняття «біосенсор» та «нейробіосенсор» (НБС), оскільки достатньо повну характеристику цих біотехнічних пристроїв ми вже давали у попередніх публікаціях [1, 8, 9, 12]. Оскільки немає єдиного визначення біосенсора внаслідок великої кількості їх типів та різноманіття виконуваних функцій, то найбільш підходящим для нашого випадку за сенсом є: «Біосенсор - це аналітичний пристрій, який перетворює біологічну реакцію в електричний сигнал. Біосенсори повинні бути високоспецифічними, незалежними від фізичних параметрів, таких як рН і температура, і повинні бути багаторазовими. Біосенсор - це аналітичний прилад, який використовується для виявлення хімічної речовини, що поєднує біологічний компонент з фізико-хімічним детектором» [7]. На основі власного досвіду багаторічної роботи автори сформулювали визначення біосенсора: «біосенсор це аналітичний пристрій - біоінформаційна система, до якої входить нейроподібний елемент з його властивостями, у сукупності його функцій як акцептора (приймача інформаційних сигналів), фільтра, біоаналізатора та кодера/декодера цих сигналів. Як частина біосенсора виступає також електронна підсистема, у яку входять електричні сигнали на виході інкорпорованого біологічного фрагмента (БФ)».

На вхід такого біосенсора НБС надходить інформація, яка закодована а) у структурі діючих на БФ хімічних речовин, б) у характеристиках вхідних електричних інформаційних сигналів; характеристики електричних сигналів на вході та виході завжди відрізняються. Нейроподібний елемент у складі біосенсора характеризується набором властивостей, які можна реально реєструвати у цифровому вигляді під час біофізичних експериментів.

Такий тип біосенсора запропоновано називати нейробіосенсором НБС. До складу такого НБС входять «біологічний фрагмент БФ» та бло-

ки підтримуючої електроніки, які були розроблені, у першу чергу, для реєстрації електричних сигналів на виході БФ та підтримання його у робочому стані.

Автором цієї статті запропоновано функціональний аналіз біосенсора, згідно яким БФ у складі НБС виконує 4 основні функції: а) акцептора (приймача інформаційних сигналів (хемо-, або електричних сигналів), б) фільтра сигналів, в) локального аналізатора (хімічних речовин або вхідних електричних сигналів), та г) функцію кодування/декодування вхідного сигналу. Блок-схема такого біосенсора НБС наведена на рис. 1.

Біосенсори НБС в умовах біофізичного експерименту. Роль елементів із акцепторами вхідних сигналів можуть відігравати фрагменти організмів - «біологічні фрагменти» (БФ): клітини, мембрани тощо [7-9, 12, 13]. Багато із них здатні взаємодіяти з хімічними елементами та сполуками. Часто наслідком такої взаємодії є зміна електричних властивостей цих об'єктів, у т.ч. виникнення у них електричних струмів.

Тобто, згідно з означенням, такий БФ може бути чутливою (сенсорною) ланкою біосенсора. Дослідження таких об'єктів входить до сфери компетенції біофізичних досліджень, наприклад, із застосуванням методів реєстрації трансмембранних електричних струмів з фіксацією потенціалу на мембрані, patch-clamp, тощо.

Важливим є те, що у процесі таких експериментів, у т.ч. на клітинах мозку отримують чисельні дані, оцифровані та занесені у інформаційні системи, та які реально характеризують процеси у живих системах.

Поєднання БФ – експериментальної електрофізіологічної установки (ЕФУ) із електронними інформаційними системами (ІС) можуть розглядатись, як єдиний інформаційний біоелектронний комплекс: БФ – ЕФУ – ІС.

Наведені нижче дані були отримані у біофізичних експериментах з реєстрації трансмембранних електричних струмів з фіксацією потенціалу на мембрані нейрона мозку, які були детально описані у [8, 9, 12-20]. Мембранний потенціал фіксували за допомогою мікроелектроду Ag-AgCl.

Для одноелектродного запису в режимі «фіксації потенціалу» застосовували стандартну електронну схему [12,13]. Як електричний струм, так і напругу контролювали за допомогою комп'ютера, результати записували у його пам'ять для подальшого аналізу. Надзвичайно важливо було те, що всі величини та їх зміни були зареєстровані у вигляді цифрових величин із великою точністю (нижня межа реєстрації амплітуд електричних струмів становила 0,1 нА, змін потенціалу 0,1 мВ). Узагальнююча блок-схема біосенсора, на якій представлені всі групи пристроїв, задіяних у експерименті, наведена на рис.1, 2. Розробка експериментальних методів базувалася на методах,

попередньо розроблених біофізичними науковими групами під керівництвом академіків АН СРСР та НАН України Костюка П.Г. та Криптяля О.А., у тому числі до складу однієї з наукових груп входили к.б.н. Циндренко А.Я., Кіскін М.І., та Ключко О.М.

На рис. 3 у загальному вигляді представлено шляхи передачі, перетворень, кодування, всіх ланок процесінгу інформації протягом та після біофізичного експерименту, від надходження до біосенсору вхідних даних (зліва) до створення моделей (справа).

**Поняття біосенсора НБС як абстракції, його чотири основні функції.**

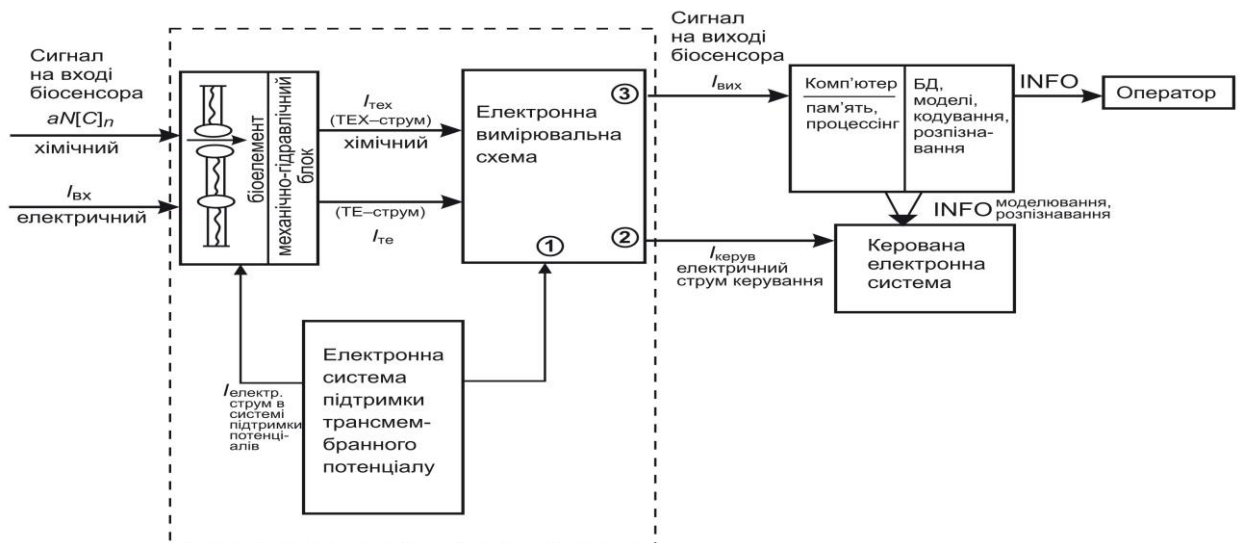


Рис. 1 Електронна біосенсорна система зі зворотним зв'язком. На вхід системи інформація надходить у вигляді електричних або хімічних сигналів, на виході – у вигляді електричних сигналів (пояснення у тексті) [12, 13]

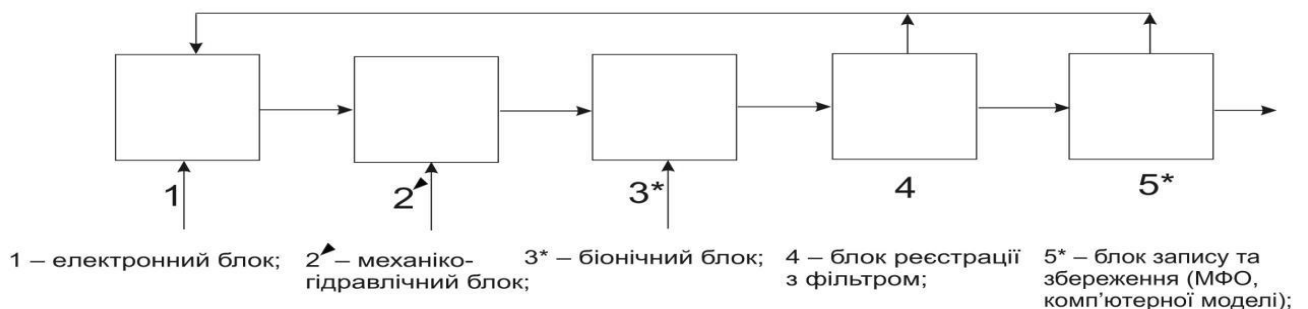


Рис. 2 Узагальнююча блок-схема біосенсора, на якій представлені всі групи пристроїв, задіяних у експерименті [12,13]

Розглянемо біосенсор НБС як абстрактне поняття, незалежно від того, яка молекулярна будова його поверхні, які речовини викликають у ньому електричні струми тощо.

Можна помітити, що для всіх біосенсорів НБС характерні кілька важливих рис, які визна-

чаються їх функціями.

Розглянемо їх лише коротко, у прив'язці до загальної блок-схеми біосенсора (Рис. 4); причому порядковий номер розглянутої нижче функції буде співпадати із порядковим номером відповідного блоку.

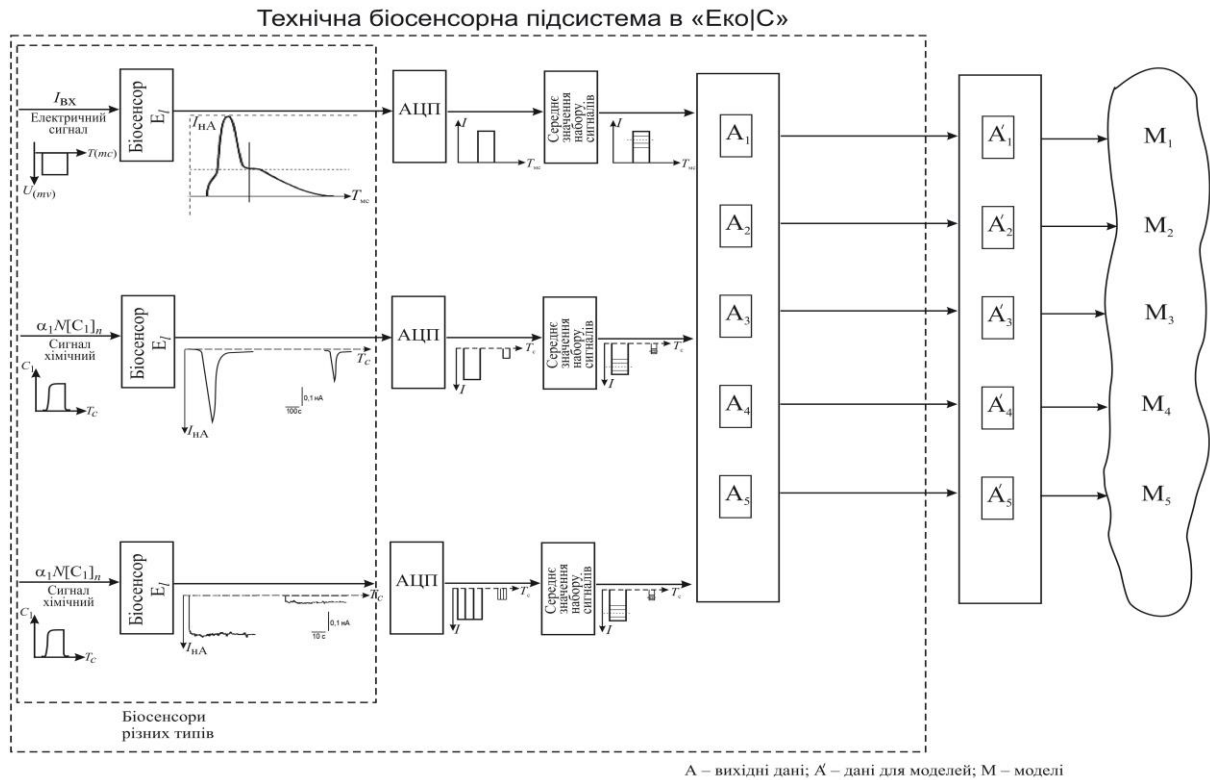


Рис. 3 Наукові основи розробки біосенсора: від електричних сигналів до моделей. Сигнали на вхід біосенсора можуть поступати як електричні, так і хімічні, що перетворюються на електричні. У системі біосенсора вони зазнають подальших перетворень при проходженні у колах, при обробці аналогічно сигналам у технічних системах (пояснення див. у тексті) [8, 12, 13, 18-20]

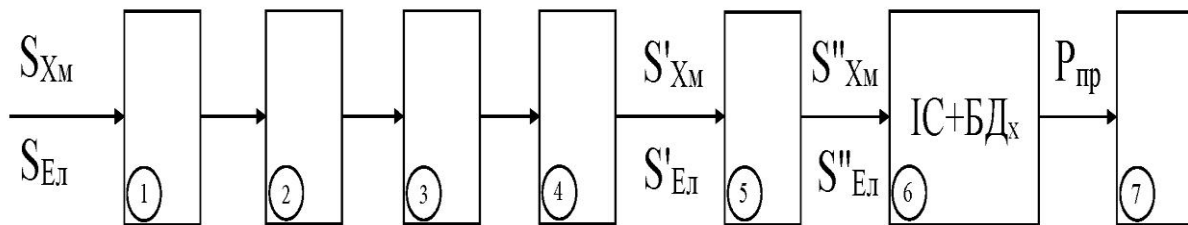


Рис. 4 Блок-схема біосенсора НБС та його поєднання із електронною інформаційною системою. 1-приймач вхідних інформаційних сигналів (акцептор), 2- фільтр сигналів, 3- елементарний аналізатор, 4- блок із функцією кодування вхідних сигналів (БФ представлений блоками 1-4); 5- електронний блок для проведення експериментів з функціями підтримки БФ (НБС об'єднує блоки 1-5). 6 - блок електронної інформаційної системи із базами даних, у яку інкорпоровано НБС. 7 – вивід даних, у т.ч.на монітор.

Позначення:  $S_{XМ}$  - вхідні інформаційні сигнали, у яких інформація закодована у структурах хімічних речовин, та  $S'_{XМ}$ ,  $S''_{XМ}$  – їх перетворення у біосенсорі; аналогічно  $S_{ЕЛ}$  – вхідні електричні інформаційні сигнали, та  $S'_{ЕЛ}$ ,  $S''_{ЕЛ}$  – вони ж після перетворень у біосенсорі;  $P_{пр}$  – інформація на виході системи

Позначення:  $S_{XМ}$  - вхідні інформаційні сигнали, у яких інформація закодована у структурах хімічних речовин, та  $S'_{XМ}$ ,  $S''_{XМ}$  – їх перетворення у біосенсорі; аналогічно  $S_{ЕЛ}$  – вхідні електричні інформаційні сигнали, та  $S'_{ЕЛ}$ ,  $S''_{ЕЛ}$  – вони ж після перетворень у біосенсорі;  $P_{пр}$  – інформація

на виході системи.

1) біосенсор НБС - як приймач інформаційних сигналів (акцептор) (рис.4). Широковідомо, що на вхід НБС інформація надходить двояко, у вигляді сигналів двох типів: а) закодованою у хімічних структурах діючих на мембрани БФ речо-

вин. Відповідно, НБС демонструє вихідні електричні сигнали, характеристики яких прямо пов'язані із сигналами на вході. Тобто, характеристики таких вихідних електричних сигналів відповідають структурам речовин, що взаємодіють із БФ біосенсора. Отже, у БФ біосенсора відбувається перекодування сигналів з хімічних на електричні; б) НБС отримує вхідні інформаційні електричні сигнали із певними характеристиками, а на виході НБС реєструють сигнали електричної природи, але із іншими характеристиками. Отже, у цьому випадку, на рівні БФ біосенсора відбувається перекодування сигналів з електричних із одними характеристиками на електричні із іншими характеристиками.

2) біосенсор НБС як фільтр вхідних інформаційних сигналів (рис. 4). Вхідна інформація сприймається НБС селективно, тобто «значущими» на вході є такі сигнали, які несуть хімічні речовини цілком певної будови та електричні сигнали із цілком певними характеристиками. «Фільтрація» вхідних сигналів відбувається за рахунок того, що сигнали на вході мають взаємодіяти виключно тільки з цілком певними молекулярними структурами мембран. Фактично, функції 1) та 2) визначають роль НБС як ключа коду при передачі інформації таким молекулярним пристроєм [14].

3) біосенсор НБС як первинний елементарний аналізатор вхідних інформаційних сигналів (рис. 4).

Будова БФ НБС (наявність у її складі тих чи інших хімічних речовин, їх конформація, їх взаємне розташування у просторі, тощо) у комплексі з а) перетвореннями, які відбуваються у мембрані внаслідок наближення хімічних речовин до поверхні мембрани, та б) тими ланцюгами перетворень (у т.ч. хімічних реакцій), які йдуть слідом за цим, обумовлюють функцію НБС як «аналізатора» інформаційних сигналів на його вході.

Іншими словами, набір явищ та властивостей НБС 1), 2), 3) призводить до того, що біосенсор «розрізняє», які хімічні речовини та у якій кількості із ним взаємодіють [12].

4) біосенсор НБС як кодер/декодер інформації (рис. 4). Вище вже йшлося про те, що біо-

сенсор НБС виконує функції пристроїв - кодера/декодера інформації.

Експериментальним шляхом було неодноразово доведено, що на БФ НБС інформація надходить у вигляді інформаційних сигналів – іонів чи молекул хімічних речовин, або електричних сигналів із певними характеристиками.

На рівні НБС відбувається перекодування цієї інформації у електричні сигнали із іншими характеристиками.

Відповідно, також відбувається процес у зворотному напрямку. Якщо виходити із сучасного рівня знань то обґрунтовано, що функції біосенсора НБС з кодування/декодування можуть мати двояке вираження: у табличній формі (див табл. 1), та у аналітичній формі у вигляді математичних функцій (або набору функцій), якщо вони були попередньо встановлені.

Електричні вихідні сигнали біосенсора НБС як елемента інформаційної системи. У ряді попередніх публікацій автором вже було оприлюднено зареєстровані результати щодо відповідності між хімічною структурою молекул, що взаємодіють із поверхнею мембрани НБС та електричними сигналами, зареєстрованими на виході біосенсора [12, 13, 20].

Деякі результати експериментальних досліджень виникнення електричних імпульсів на нейронах головного мозку у відповідь на електричний подразнюючий імпульс (електроактивовані струми), або у відповідь на хімічний подразнюючий вплив (хемоактивовані струми) наведені у Таблиці 1) (див. також [15]). На нашу думку, ці результати можуть бути застосовані при вирішенні деяких задач конструювання технічних пристроїв - біосенсорів, як елементів окремих вузлів комп'ютерних, інформаційних систем ТІС. Наведемо в зведеній Таблиці 1 дані щодо деяких ефектів, зареєстрованих під час біофізичних експериментів, описаних нами раніше у ряді публікацій [12, 13, 20]. По тому скажемо про можливі перспективи використання зареєстрованих ефектів з метою кодування сигналів та захисту інформації.

Аналізуючи дані, наведені у Таблиці 1 необхідно зазначити, що вирішення задачі генерації

імпульсів заданої форми є однією з важливих задач при створенні комп'ютерної техніки та інформаційних систем загалом. Дані, отримані нами при дослідженні електричних властивостей мембран нейронів, дозволяють створити модель технічного пристрою – біосенсора, що має властивості кодування інформації та видає на виході імпульси різноманітної, наперед заданої форми та з наперед заданими електричними характеристиками [15]. У Таблицю 1 для порівняння вміщені дані різних авторів, отриманих у експериментах іншими методами біофізики [14].

На основі деяких експериментальних даних, наведених у Таблиці 1, можна продемонструвати можливість біосенсора до кодування інформації та захисту даних у системах із біосенсорами. Розглянемо Таблицю 1 докладно та нижче наведемо відповідні пояснення щодо наведених у ній ефектів. В колонці зліва наведено назву біологічного об'єкту, на якому зареєстровано певне явище. Так, ряд явищ зареєстровано на мембрані біологічного нейрона, в нашому випадку – нейрона мозку (наприклад, поле 1 у Таблиці 1). В центральній колонці перелічені ефекти, які були зареєстровані на відповідному об'єкті (наприклад, поле 1 у Таблиці 1 – 1.а, 1.б, 1.в). Оскільки ефекти – 1.а, 1.б, 1.в – ми створювали цілеспрямовано в експериментальних умовах і вони були повторюваними, то можемо стверджувати, що в майбутньому їх також можна буде повторювати цілеспрямовано, як результат роботи відповідних штучно створених елементів майбутніх інформаційних систем із біосенсорами. Наприклад, як і в умовах наших експериментів, такі штучні елементи майбутніх біосенсорів у ІС зможуть генерувати імпульси трикутної форми при аплікації речовин - глутамата (Іглу) або ГАМК (ІГАМК). Відповідно, такі штучні елементи зможуть генерувати імпульси прямокутної форми, якщо штучні гКРК активувати кайнатом (КК, Ікк). Для того, щоб імпульс прямокутної форми мав задану тривалість, в потрібний момент необхідно або припинити дію КК, або подіяти специфічною речовиною – блокатором електричних струмів (поля 1.в та 3 у Таблиці 1). В якості останнього можуть виступати агенти-блокатори із розглянутого нами набору специфі-

чних блокаторів Glu-R. В колонці справа наведені фізичні механізми, що лежать в основі відповідного ефекту (якщо такі механізми на сьогодні відомі).

Сказане вище відноситься до створення одиночних імпульсів. Проте при періодичному повторенні цих процедур можливе створення також і періодичних сигналів (меандру, пилкоподібної серії імпульсів тощо) (поле 1 у Таблиці 1 – 1.в). Іншим прикладом періодичного сигналу, може бути відкриття одиночних каналів на мембрані, які пропускають електрично заряджені іони, утворюючи електричний струм (поле 4).

Можливість модифікації сигналів від розглянутого нами об'єкта – нейрона мозку – показана в змісті поля 2 у Таблиці 1. Тут наведені дані щодо того, як можна підвищити амплітуду вихідного сигналу (Іглу, Ікк) та зменшити шум цього сигналу за рахунок удосконалення хімічної обробки мембрани на стадії її підготовки до експерименту. Відповідно амплітуди відведених сигналів Іглу, Ікк зростають у 11,8 разів, шум при відведенні цих сигналів суттєво зменшується [8, 12, 13, 20].

Біоінформаційні комп'ютерні системи із інкорпорованим біосенсором. Здатність біосенсора НБС генерувати та/або передавати й видавати на виході саме електричні інформаційні сигнали (а не сигнали іншої природи) є надзвичайно важливою властивістю, що дозволяє інкорпорувати цей об'єкт – нейробіосенсор НБС у електричні системи (у нашому випадку – у біофізичну експериментальну установку), з подальшим включенням утвореного комплексу до складу інформаційних систем ТІС із виходом на мережеві системи Інтернет. Різні типи електричних сигналів, які реально реєструють на виході біосенсора НБС, та які дозволяють успішно сполучати цей об'єкт із електричними пристроями та системами [12, 15, 18, 19] наведено у Таблиці 1. Саме електрична природа інформаційних сигналів на виході біосенсора є необхідною умовою того, що при внесенні біосенсора до складу інформаційної системи вони зможуть бути функціонально поєднаними, оскільки таке з'єднання відбувається саме за рахунок електричних зв'язків. При цьому вже стають

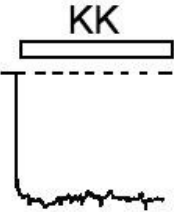

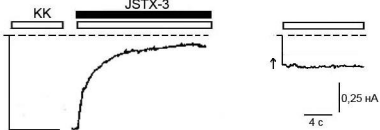
менш важливими як індивідуальні відмінності біосенсорів, так і окремі індивідуальні риси, характеристики інформаційної системи, а типів таких систем натепер у світі існує дуже багато [1-4]. Для прикладу, розглянемо коротко комплексну гібридну біоінформаційну систему, розроблену автором [12, 18, 19], яка поєднує у собі тІС та нейроподібний біосенсор НБС (нІС). Метою виконання цієї роботи була розробка нової біотехнічної інформаційної системи моніторингу в широкому часовому діапазоні «ЕкоІС» із використанням сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій на базі новітніх електронних інформаційних систем з базами даних (Рис. 5). Для цього були проаналізовані деякі сучасні методи захисту інформації, новітні біотехнічні та електронні ін-

формаційні системи, а також можливості їх застосування з метою моніторингу довкілля аеропортів на предмет наявності шкідливих хімічних речовин.

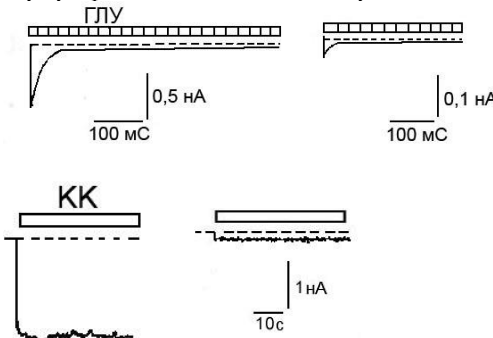
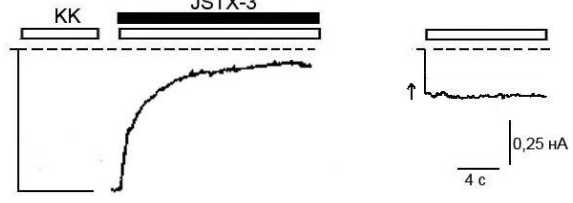
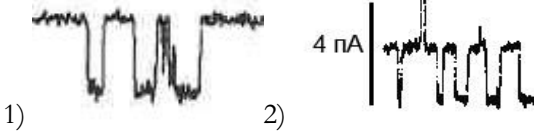
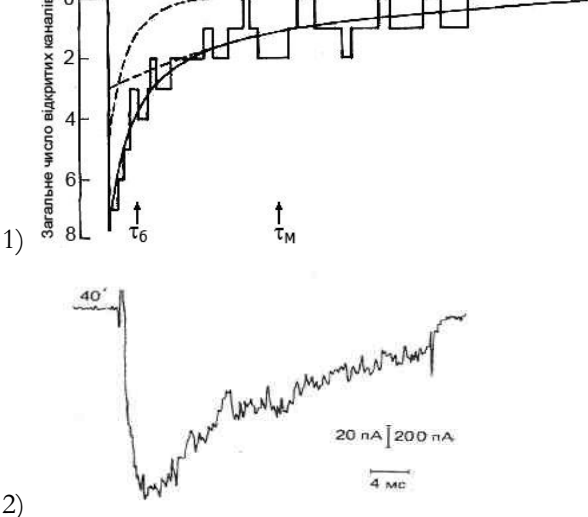
При виконанні роботи були використані наступні методи: компаративних досліджень зразків технічних пристроїв, імітаційного та програмного моделювання, які базувалися на числових результатах, отриманих у експериментах з реєстрацією хемочутливих трансмембранних електричних струмів у нейронах у режимі фіксації потенціалу та ін. методи. Застосовані біофізичні методи дозволили виявити та ідентифікувати речовини, небезпечні для живих організмів, і зробити перші висновки про їх можливий біологічний вплив.

Таблиця 1

Ініціація електричних струмів у нейробіосенсорі НБС при дії хімічних речовин (пояснення у тексті)

№ з/п	Об'єкт	Зареєстрований ефект	Фізичні механізми, що лежать в основі ефекту
1	Поверхня НБС: мембрани нейронів	<p>На мембранах нейробіосенсора НБС виникають імпульси струмів Імем. Форму імпульсів можна задавати експериментально хемоактивацією різними агентами. Імпульси можна задавати одиночними, (довільно та цілеспрямовано):</p> <p>1.а. кайнатактивований струм ІКК. – прямокутний стрибок</p>  <p>1.б. глутаматактивований струм ІГлу – пилоподібний трикутний імпульс</p>  <p>Імпульси можна задавати періодичними, (довільно та цілеспрямовано):</p> <p>1.в. кайнатактивований струм ІКА, його інактивація токсином (Гх) аранеїд – прямокутний ступінчатий імпульс ІКК+ (Гх)</p> 	<p>Для ініціації електр. струмів застосована дія речовин:</p> <p>1.а. кайнат (КК)</p> <p>1.б. глутамат (Глу)</p> <p>1.в. КК + JSTX-3</p>



2	Молекули глутамат. канало-рецептор. Комплекси (ГКРК)	Посилення імпульсу струмів ІКК, ІГлу в 11,8 раз, зменшення шуму при виникненні сигналу 	Зменшення пошкодження біосенсора під час підготовки його до експериментів. Для ініціації електр. струмів застосовано речовини: Глу, КК
3	Струми ІКК та ІГлу: дія на них токсинами	Дія токсинами (Тх) на ІКК та ІГлу: «Виключення» (по необхідності) трансмембранних струмів Імем, створення імпульсів заданих форм (зворотне/незворотне) 	Для ініціації електр. струмів застосована дія речовин: КК + JSTX-3
4	Струми через одиночні канали	Отримання мініатюрних імпульсів прямокутної форми (пА) при patch-clamp реєстрації. 	Одиничний акт роботи молекули поверхні біосенсора
5	Струми через одиночні канали	Статистична сума струмів одиночних каналів (1) дає сумарний імпульс струму Імем, пА (2), що реєструється експериментально 	Сумарний трансмембранний струм Імем утворений сумою елементарних струмів через одиночні канали на поверхні біосенсора

У результаті була розроблена оригінальна система моніторингу довкілля в широкому часовому діапазоні, поєднана з детекторними групами, базами даних, експертною підсистемою та інтерфейсом; вона здатна розрізнити деякі типи

хімічних речовин на вході й виводити дані з їх ідентифікації та при потребі – повідомлення щодо їх шкідливості.

Під час такого моніторингу можливо вивчати наслідки впливу речовин протягом декількох

проміжків часу, від перших моментів впливу речовин на одиночні клітини організму – до місяців і років після такого впливу на весь організм.

Узагальнено перші результати практичного використання розробленої технічної системи, деякі з результатів неможливо отримати за допомогою раніше використовуваних пристроїв та наборів методів. Результатам виконаної роботи було присвячено ряд публікацій, у яких наведені деякі дані аналізу функціонування розробленої технічної системи та її практичного застосування, також зроблені деякі практичні рекомендації для проведення моніторингу довкілля [18].

У процесі цієї багаторічної роботи роботи були розроблені біосенсори трьох типів, які було запропоновано інкорпорувати у кілька модифікацій біоінформаційної системи «ЕкоІС» (Рис. 5), розроблені відповідно супутні методики, всі розробки були захищені патентами [8, 9, 18, 19]. Для всіх виконаних робіт була розроблена наукова база, проведені супутні лабораторні, експериментальні дослідження. У табл. 2, 3 наведена додаткова інформація щодо роботи інформаційної системи, а саме процесінгу отриманих експериментальних даних, прав доступу до отриманих експериментальних даних, тощо [16, 17].

Розроблено фізичну модель біосенсора як частини технічної біоінформаційної системи, також було розроблено відповідне програмне забезпечення. Були запропоновані алгоритми, математичний та програмний підходи до опрацювання баз даних для розробленої біоінформаційної системи.

Для цієї ж системи «ЕкоІС» були розроблені вбудована експертна система із відповідним програмним забезпеченням, електронні автоматизовані робочі місця (АРМ), тощо. Електронні авто-

матизовані робочі місця (АРМ) для цієї системи були розроблені на основі відповідних баз даних для використання вченими-біологами кількох спеціальностей (екологи, нейротоксикологи, зоологи тощо); вони стали інтерфейсом до системи моніторингу "ЕкоІС". ЕРМ були розроблені на основі мережових технологій, їх структури, функцій. Розроблені ЕРМ зручні у використанні та цілком задовільно відповідають вимогам відповідних експертів експериментальних та теоретичних даних. При розробці біосенсора як елемента біоінформаційної системи було розроблено метод підсилення у 11,8 раз амплітуди струмів вихідних електричних струмів біосенсора (у мембранах нейронів мозку); це дозволяє покращити виявлення електричних сигналів на фоні шуму. Використовуючи розроблений метод, експериментальний запис вихідних електричних струмів став більш досконалим, тому подальша обробка даних ІС стала також більш досконалою. Патенти були отримані на всі розроблені методи [8, 9, 15-17 та ін.]

Таблиця 2

Статус користувачів даних [16, 17]

Статус користувача	Опис
Адміністратор	Системний адміністратор та оператор контролю за ходом експерименту
Учасник експерименту	Член співавторів – постановників експерименту
Учасник обробки даних	Особа, допущена до обробки даних рішенням учасників експерименту
Авторизований сторонній користувач	Особа, яка зареєструвалася на сайті системи з проведення експерименту
Спостерігач (неавторизований сторонній користувач)	Будь-який користувач, який відвідує сайт, але не реєструється на ньому

Таблиця 3

Права доступу до даних [16, 17]

Користувач	Дані 0-го рівня, ТМГ	Дані 1-го рівня	Дані 2-го рівня	Дані 3-го рівня
Адміністратор	Так	Так	Так	Так
Учасник експерименту	Ні	Так	Так	Так
Учасник обробки даних	Ні	Відповідно до рішення експериментаторів		
Авторизований сторонній користувач	Ні	Ні	Так	Так
Спостерігач (вільний доступ)	Скорочений набір наукової інформації			

Розробка нових засобів та методів захисту даних та перспективи їх застосування для забезпечення інформаційної безпеки. Розглянемо вищенаведені результати з точки зору перспектив застосування їх для забезпечення інформаційної безпеки та захисту інформації на фізичному рівні, а також шляхом кодування. Описані вище біотехнічні елементи – біосенсори можна виконувати із застосуванням компонентів природного або штучного походження [21].

Найпростіші зразки таких біосенсорів у вигляді пластинок, мембран, поверхонь інших типів успішно розробляли в СРСР ще у 1970х роках, а теоретичні розробки у цьому напрямку почалися ще з 30х років минулого століття [21]. Продовжуючи на новітньому етапі ці роботи, можна виконувати штучні аналоги біосенсора, нейробіосенсора НБС у вигляді невеликих пластинок на основі органічних сполук [1-5]; ці зразки можуть

бути застосовані з метою захисту інформації. Справді, відомі способи захисту даних за допомогою апаратного електронного ключа [4] розміром із широкоживаний флеш-накопичувач (сантиметрові розміри).

Виготовлення штучних аналогів біосенсорів, НБС дозволяє отримати пристрої, які можуть бути застосовані для захисту інформації мікро-розмірів, придатних до застосування у авіакосмічній галузі. Крім того, конфіденційність даних у такій системі буде забезпечена набагато краще, ніж у [4]. Ми розробили зразки таких електронних біотехнічних пристроїв - біосенсорів, захищених патентами України [9, 12, 16, 17, інші].

У своїх попередніх публікаціях автор вже оприлюднювала дані щодо кодування інформації у біосенсорі НБС [12], а саме щодо перекодування хімічної інформації у електричні сигнали.

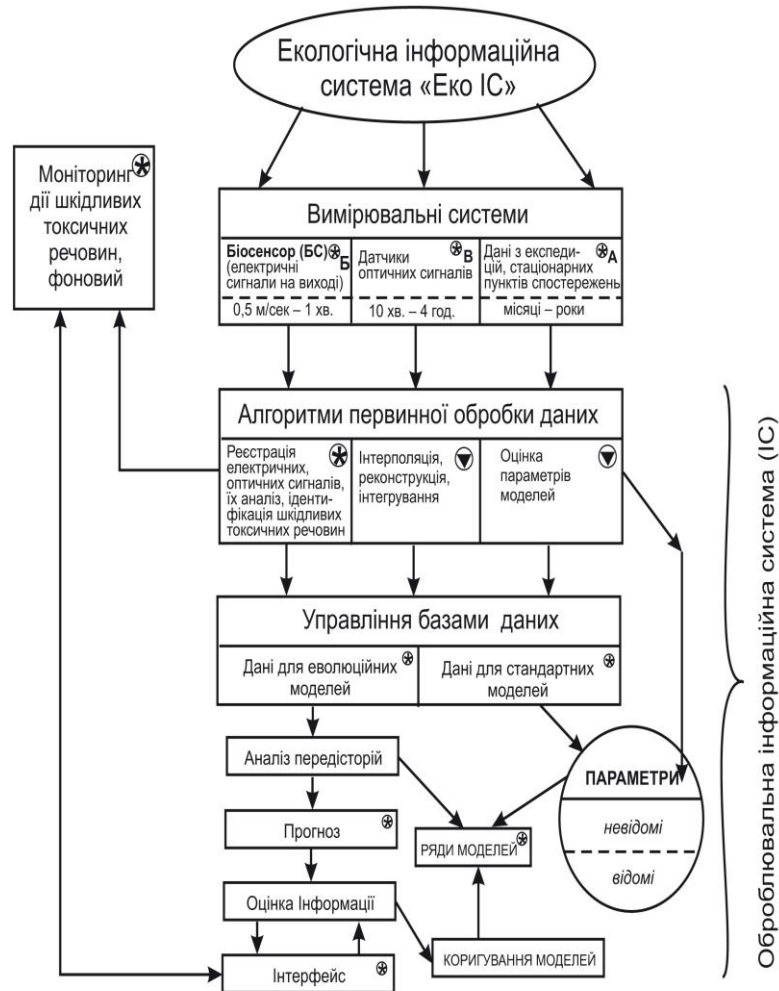


Рис. 5 Блок-схема інформаційної системи «Еко-ІС» з біосенсорами

Позначення: зірками - блоки, що в роботі були спеціально розроблені повністю, або зазнали кардинальних змін, трикутниками – ті, що зазнали модифікацій при розробці системи (пояснення у тексті) [12, 18, 19]

Була продемонстрована відповідність між хімічною структурою діючої на БФ хімічної сполуки та електричними сигналами, зареєстрованими на виході біосенсора [12, 13, 18, 19]. Показано, що при дії на такі струми хімічними речовинами-блокаторами різної структури отримані записи вихідних електричних струмів є подібними, які однак відрізняються між собою рядом характеристик, специфічних для кожної діючої речовини. Причому такі відмінності є достовірними, повторюваними, однозначно відповідними, і це дозволяє стверджувати, що перекодування хімічної інформації у електричну форму відбулося і результат кодування також демонструє однозначну відповідність.

Звичайно, ті методи та засоби забезпечення інформаційної безпеки, які вже застосовуються натеper та добре себе зарекомендували, не можна відкидати, вони мають застосовуватись і у майбутньому, у тому числі, і для розроблених автором інформаційних систем (див. табл. 2, 3 та [4, 16, 17]).

Проте на основі виконаних робіт можна обґрунтувати нові засоби та методи забезпечення інформаційної безпеки розроблених біоінформаційних систем з нейроподібними елементами - біосенсорами. Цілковито природньо, розробляючи системи захисту інформації для таких, описаних вище систем, скористатися саме тими можливостями, які надають біотехнічні компоненти цих систем.

У результаті було розроблено новітній концептуальний напрямок захисту інформації, покликаний попереджувати пошкодження інформаційних ресурсів із застосуванням сучасних досягнень у галузі вивчення нейронів, їх систем, деяких інших біологічних об'єктів. Нижче – кілька його основних положень.

1. Два основних напрямки кодування інформації із застосуванням нейро-біосенсорів НБС. Для розробки методів захисту даних у таких біомедичних системах, автор пропонує, у першу чергу, виходити із ефектів, відображених у табл. 1 - сигналів на виході біосенсора. Із таблиці видно, що такі сигнали бувають двох типів: 1) сигнали, отримані у експериментах із реєстрацією транс-

мембранних електричних струмів у режимі фіксації потенціалу (схожі на аналогові сигнали у радіотехнічних системах); та 2) сигнали, отримані у експериментах "patch-clamp"; ці сигнали схожі на набір прямокутних імпульсів струмів, що носять стохастичний характер. Такі прямокутні імпульси відображають характер роботи молекул на поверхні біосенсора, а саме акти їх «відкривання» та «закривання» при «відкриванні» молекули через неї проходить порція електрично заряджених іонів, спричиняючи «стрибок» амплітуди струму [14]. Фактично, таким чином реєструють наноефекти на поверхні мембран. Існування таких двох типів інформаційних сигналів на виході біосенсора відповідають двом основним типам інструментальної реєстрації електричних струмів на виході біосенсорів.

Відповідно, при розробці двох основних напрямків кодування інформації на виході із біосенсора та захисту інформації у такій інформаційній системі, необхідно виходити із цієї об'єктивної ситуації існування двох типів електричних сигналів на виході біосенсорів, що надходять по тому до поєднаної технічної інформаційної системи.

2. Кодування інформації пристроями із властивостями біосенсорів. Як було показано вище, однією із властивостей біосенсора НБС є кодування інформації [12], а саме перекодування хімічної інформації у електричні сигнали. Була продемонстрована відповідність між хімічною структурою діючої на БФ хімічної сполуки та електричними сигналами, зареєстрованими на виході біосенсора [12, 3, 20], а також між електричними інформаційними сигналами на вході та виході біосенсора. Наведені у статті результати можуть бути прикладом практичного застосування біосенсора НБС для кодування інформації про структуру різних хімічних речовин у вигляді запису відповідних електричних струмів [12]. Натеper таких прикладів існує (та їх можна відповідно навести) близько кількох тисяч [12-14, 18-20]. При упорядкуванні цієї інформації у відповідні бази даних, вона може бути застосованою для кодування та передачі інформації щодо відповідних хімічних речовин. У попередніх роботах було наведено стисле математичне описання осно-

вних явищ та процесів у біосенсорі [1, 12]. Зарєстровані закономірності дозволяють тепер інформацію щодо значної кількості хімічних речовин представляти у вигляді відповідних електричних сигналів, а також передавати таку інформацію. Конфіденційність такої інформації буде дуже високою, адже щоб «зламати» цей код, необхідно володіти знаннями про її «ключ» - біосенсор, а кількість їх версій є практично необмеженою.

3. Функції «ключ-замок» біосенсора НБС та захист інформації. Захист інформації у сегментах інформаційної мережі за допомогою пристроїв-аналогів біосенсорів НБС можна реалізувати різними шляхами, у тому числі наступним чином. При виготовленні НБС за методами, подібними до розглянутих у [21], можна отримувати пластинки з біосенсорними властивостями, які характеризуються специфічністю, яка може бути відомою лише обмеженому колу осіб. При інкорпоруванні такого специфічного пристрою НБС до інформаційної мережі можна специфічно «відключити» певний її сегмент, запобігаючи витоку даних. Тобто, специфічність складу НБС, у т.ч. типів неорганічних та органічних молекул у її складі, призводить до того, що через пристрій пройдуть сигнали лише із певними характеристиками, знизивши доступність інформації у виділеному сегменті. «Ключем» до «підключення» та «відключення» (або до балансу між конфіденційністю та доступністю інформації у системі) виступає пристрій із біосенсорними властивостями, наприклад саме з тим специфічним набором молекул, їх взаємного розташування, ін., які були обрані у якості «ключа».

4. Конфіденційність інформації при застосуванні пристроїв із біосенсорними властивостями. Підвищення рівня конфіденційності інформації при застосуванні пристроїв - біосенсорів НБС можна досягти, виготовляючи специфічні пристрої із біосенсорними властивостями, у т.ч. спеціально підбираючи для цього різні типи молекул у їх складі, перемішуючи молекулярні компоненти і т.д. (див. також попередній п.3). Оскільки інформація, що «пропускається» через біосенсор НБС напряму залежить від типів молекул у його складі, то можна до певної міри задавати або кон-

тролювати цю інформацію. Натепер виконана робота носить здебільшого теоретичний характер. І хоча окремі її частини були здійснені на практиці, але для успішного застосування на практиці треба виконати ще додатковий об'єм робіт.

## ВИСНОВКИ

У даній статті було детально проаналізовано можливості розробки специфічних способів захисту даних у інформаційних системах, реалізованих із застосуванням технічних пристроїв – біосенсорів. Вони є елементами біоінформаційних систем та функціонально із ними пов'язані завдяки електричним сигналам на виході біосенсорів; у публікації аналізуються специфічні можливості кодування інформації у такій комплексній системі. У процесі роботи були застосовані методи фізичного моделювання біосенсорів як елементів інформаційних систем, розробки інформаційної системи моніторингу із базами даних, методики компаративного аналізу характеристик вхідних та вихідних електричних інформаційних сигналів біосенсора.

Було наведено поняття біосенсорів та розглянуто їх властивості, у т.ч. у експериментальній системі із реєстрацією вихідних електричних інформаційних сигналів, властивість кодування інформаційних сигналів таким біотехнічним пристроєм та ряд інших. Розроблена фізична модель та наведені ряд результатів випробування пристрою. Коротко розглянуто функції нейроподібного біосенсора: приймач вхідних інформаційних сигналів – фільтр – аналізатор – кодер/декодер.

Показано у табличному вигляді відповідність інформаційних сигналів на вході біосенсора (хімічні сигнали) та після кодування на виході (електричні сигнали).

Як приклад коротко розглянута виконана автором інформаційна система «ЕкоІС» із базами даних та біосенсорами для моніторингу наявності та ідентифікації шкідливих хімічних речовин у довкіллі аеропортів.

Результати застосування пристроїв із властивостями біосенсорів можуть створити нові можливості для забезпечення інформаційної безпеки

та захисту інформації на фізичному рівні у інформаційних системах. Щодо цього наведемо кілька основних результуючих положень.

1. Розглянуто та обґрунтовано два основні напрямки кодування інформації біосенсором НБС та захисту інформації у розглянутій системі. Різні методи кодування можуть бути розроблені внаслідок факту ресстрації двох типів електричних сигналів на виході таких біосенсорів.

2. Розглянуто й запропоновано до застосування явище кодування інформації пристроями із властивостями біосенсорів НБС. А саме, перекодування хімічної інформації у електричні сигнали та електричні сигнали із певними характеристиками у електричні сигнали із іншими характеристиками.

3. Запропоновано використати функції «ключ-замок» біосенсора НБС для захисту інформації.

4. Конфіденційність інформації при застосуванні пристроїв із біосенсорними властивостями. Підвищення рівня конфіденційності інформації при застосуванні пристроїв - біосенсорів НБС можна досягти, виготовляючи специфічні пристрої із біосенсорними властивостями, у т.ч. спеціально підбираючи для цього різні типи молекул у їх складі, тощо.

Подяки. Автор дякує за плідне співробітництво колегам з Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України в особах завідувача лабораторії супутникових досліджень ближнього космосу Лізунова Г.В. та наукового співробітника П'янкової О.В.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Ключко О. М. *Інформаційно-комп'ютерні технології в біології та медицині*. - К.: НАУ-друк, 2008. – 252 с.
- [2] Klyuchko O. M. *Electronic information systems in biotechnology. Biotechnol. acta.* - 2018. – Vol.11. - №2. – pp. 5–22.
- [3] Klyuchko O. M. *Information computer technologies for biotechnology: electronic medical information systems. Biotechnol. acta.* - 2018. – Vol. 11. - №3. – pp. 5–26.
- [4] Ключко О.М. Медична інформаційна система моніторингу стану здоров'я населення із захистом персональних даних. *Медична інформатика та інженерія*. – 2020. - Т. 49. – №1 – С. 17-28.
- [5] Klyuchko O. M., Klyuchko Z. F. *Electronic databases for Arthropods: methods and applications. Biotechnol. acta.* 2018. – Vol. 11. - № 4 – pp. 28–49.
- [6] Klyuchko O. M., Buchatsky L.P., Melezhyk O.V. Fish

information databases construction: data preparation and object-oriented system analysis. *Fisheries science of Ukraine*. – 2019. - Vol. 49. – №3 – pp. 32-47.

- [7] Cavalcanti A., Shirinzadeh B., Zhang M., Kretly L. C. *Nanorobot Hardware Architecture for Medical Defense // Sensors (Basel) journal.* – 2008. – Vol. 8. – № 5. –pp. 2932–2958 .
- [8] Ключко О. М., Білецький А. Я., Навроцький Д. О. *Спосіб застосування біосенсорної тест-системи. Патент UA 129923U, МПК G01N33/00, G01N33/50, C12 Q1/02., 22.03.2018, u201802896 – Опубл.:26.11. 2018, Бюл. 22. – 7с.*
- [9] Ключко О. М., Білецький А. Я., Навроцький Д. О. *Спосіб застосування біотехнічної системи моніторингу з біосенсором (біосенсорною тест-системою). Патент UA 132245 U, G01N33/50, Приоритет: 23.03.18, u2018 02893, Опубл.: 25.02.2019, Бюл. 4. –7с.*

#### ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА С БИОСЕНСОРОМ И ЗАЩИТОЙ ДАННЫХ: РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Целью выполненной работы является детальный анализ возможностей разработки специфических способов защиты данных в информационных системах, реализованных с применением технических устройств - биосенсоров. Они инкорпорированы в информационные системы как их элементы и связаны функционально благодаря электрическим сигналам на выходе биосенсоров; в публикации анализируются специфические возможности кодирования информации в такой комплексной системе. В процессе работы были применены методы физического моделирования биосенсоров как элементов информационных систем, разработки информационной системы мониторинга с базами данных, методики сравнительного анализа характеристик входных и выходных электрических информационных сигналов биосенсора. Рассмотрены понятия биосенсоров и их свойства, в том числе в экспериментальной системе с регистрацией выходных электрических информационных сигналов – это свойство кодирования информационных сигналов таким биотехническим устройством и ряд других. Разработана физическая модель и приведены некоторые результаты испытания устройств. Кратко рассмотрены функции нейроподобного биосенсора: приемник входных информационных сигналов - фильтр - анализатор - кодер / декодер. Показано в табличном виде соответствие информационных сигналов на входе биосенсора (химические сигналы) и после кодирования на выходе (электрические сигналы). В качестве примера рассмотрена информационная система с базами данных и биосенсорами для мониторинга наличия и идентификации вредных химических веществ в окружающей среде аэропортов. Результаты выполненной работы могут создать новые возможности для защиты данных в информационных системах.

**Ключевые слова:** информационная система, биосенсор, физическая модель, защита информации, кодирования.

### INFORMATION SYSTEM WITH BIOSENSOR AND DATA PROTECTION: DEVELOPMENT OF CONCEPTUAL DIRECTIONS

The purpose of this work is detailed analysis of the possibilities of developing specific methods for data protection in information systems, implemented using technical devices - biosensors. They are incorporated into information systems as their elements and they are connected functionally by electrical signals at the output of biosensors; the publication analyzes the specific possibilities of encoding information in such complex system. In process of this work the methods of physical modeling of biosensors as elements of information systems, development of information monitoring system with databases, methods of comparative analysis of characteristics of input and output electrical information signals of biosensor were applied. The concept of biosensors and their properties are considered, including ones in experimental system with registration of output electrical information signals - the property of information signals coding by such biotechnical device, etc. A physical model was developed and some results of this device testing were given. The functions of neuro-like biosensor were observed briefly: receiver of input information signals - filter - analyzer -

encoder / decoder. The co-relations between input biosensor information signals (chemical signals) and after their coding at the output (electrical signals) is shown in tabular form. As example, the information system with databases and biosensors was observed; it was constructed for monitoring the presence and identification of harmful chemicals in airport environment. The results of this work can open new opportunities for data protection in information systems.

**Keywords:** information system, biosensor, physical model, information protection, coding.

**Ключко Олена Михайлівна**, кандидат біологічних наук (біофізика), доцент кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та Інтернету речей Національного авіаційного університету.

E-mail: kelenaXX@ukr.net.

Orcid ID: 0000-0003-4982-7490.

**Ключко Елена Михайловна**, кандидат биологических наук (биофизика), доцент кафедры электроники, робототехники и технологий мониторинга и интернета вещей Национального авиационного университета.

**Klyuchko Olena**, Candidate of Sciences (Biophysics), Associate Professor Department of Electronics, Robotics, Monitoring and IoT Technologies National Aviation University.

DOI: [10.18372/2410-7840.23.14959](https://doi.org/10.18372/2410-7840.23.14959)

УДК 004.056

## ЗАХИСТ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ АКТИВНОГО ЗВУКОПРИДУШЕННЯ

*Сергій Лізунов, Євгеній Філобок*

*Зазвичай, для усунення просочування інформації по акустичному каналу, застосовують або звукоізоляцію, або генератори корельованих акустичних перешкод. У першому випадку (пасивний метод) потрібні значні витрати часу на проведення робіт по звукоізоляції. У другому випадку (активний метод) наявність генераторів шуму створює дискомфорт при проведенні переговорів. Саме випромінювання є демаскуючою ознакою, що полегшує зловмисникам визначити час і місце переговорів. Недоліки обох перелічених вище методів можуть бути зменшені при застосуванні систем активного пригнічення акустичних шумів (Active Noise Control, Active Noise Cancellation, ANC, Active Noise Reduction, ANR). Системи такого активного шумозаглушення ґрунтуються на процесі інтерференції хвиль. Попри те, що сам по собі метод дозволяє ефективно пригнічувати навколишні звуки, реальні пристрої не завжди справляються з цим завданням, особливо з акустичними коливаннями з частотою більше тисячі Герц. Річ у тому, що на ресстрацію звуку і обчислення протилежної хвилі у мікроконтролера йде деякий час. Через це звук, що випускається ним, вже не повністю протилежний до звуку, що входить, а відстає від нього по фазі. Цей недолік можна зменшити, якщо сигнал, який потрібно подавати, подавати на вхід такого пристрою по електричному або електромагнітному каналу. Завдяки тому, що електричний сигнал поширюється швидше за звук, прилад починає обробляти сигнал ще до його приходу у вигляді акустичної хвилі. Шумозаглушення таких систем працює для звуків з частотою до 4 кГц, що є досить прийнятним для спектру мовної інформації. Таким чином, на межах контрольованої зони можна знизити рівень акустичних хвиль від джерел режимної інформації до безпечної величини. Такі системи можна також з успіхом використовувати в режимних приміщеннях, де циркуляція акустичної (мовної) інформації заборонена взагалі.*

**Ключові слова:** акустика, акустична захищеність, активне шумопридушення, захист інформації, поширення звуку у середовищі, система активного шумопридушення, активне звукопридушення, система активного звукопридушення.