

**Салиева Ольга Владимировна**, асистент кафедри менеджмента и безопасности информационных систем Винницького національного технічного університета.

**Saliieva Olha**, assistant of the Department of Management and Security of Information Systems, Vinnytsia National Technical University.

**Яремчук Юрій Євгенович**, директор Центру інформаційних технологій та захисту інформації, професор кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем Винницького національного технічного університету.

E-mail: yurevyar@vntu.edu.ua.

Orcid ID: 0000-0002-6303-7703.

**Яремчук Юрій Євгеньевич**, директор Центра информационных технологий и защиты информации, профессор кафедры менеджмента и безопасности информационных систем Винницького національного технічного університета.

**Yaremchuk Yurii**, Director of the Center for Information Technologies and Information Protection, Professor of the Department of Management and Security of Information Systems, Vinnytsia National Technical University.

DOI: [10.18372/2410-7840.22.14977](https://doi.org/10.18372/2410-7840.22.14977)

УДК 004:591.5:612:616-006

## РОЗРОБКА НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ: ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ШТУЧНОЇ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ПАМ'ЯТІ НА ОСНОВІ СПОЛУК – ПОХІДНИХ ФЕНОЛУ

*Анатолій Білецький, Олена Ключко,  
Володимир Шутко, Олена Колганова*

*Пошукові та інженерні роботи, метою яких є створення елементів та пристроїв нано-електронної пам'яті (фізичної молекулярної пам'яті) на тепер є надзвичайно актуальними. Інтенсивні роботи у цьому напрямку виконують у тому числі шляхом пошуку нових перспективних хімічних сполук – кандидатів на виконання функцій елементів фізичної молекулярної пам'яті, а також шляхом створення нових фізичних моделей відповідних пристроїв та їх нано-елементів. Метою даної роботи було запропонувати новий тип хімічних сполук ряду похідних фенолу, які потенційно можуть бути застосовані для виконання функцій молекулярної пам'яті для нано-електронних пристроїв, а також розробити фізичну модель такої пам'яті та пояснити механізм її функціонування. Для описаної фізичної моделі штучної молекулярної пам'яті запропоновано застосувати молекули - похідні фенолу із замісниками – поліаміновими ланцюгами, лінійними або розгалуженими, різної довжини та складності. Була розроблена фізична модель молекулярних накопичувачів із властивостями штучної пам'яті. Технічний результат, який може бути отриманий при здійсненні таких робіт, полягає у тому, що запропонований спосіб дозволяє модифікувати та утворювати нові елементи пам'яті штучного походження, а також виконувати тестування їх функціонування шляхом реєстрації електричних струмів через утворений зразок. Зареєстровані струми мають асиметричний характер, демонструючи властивості пам'яті зразка. Запропонована розробка відкриває нові можливості для захисту інформації у подібних інформаційних системах.*

**Ключові слова:** *фізична модель, штучна молекулярна пам'ять, нано-електронна пам'ять, хімічні сполуки, похідні фенолу.*

### ВСТУП

Пошукові та інженерні роботи, метою яких є створення елементів та пристроїв, які отримали загальну назву "наноелектронна пам'ять", або "фізична молекулярна пам'ять" виконують у різних лабораторіях світу протягом останніх близько 20 років. При цьому мають на увазі виготовлення електронних запам'ятовуючих пристроїв для комп'ютерної техніки, у яких запис інформації відбувається на основі фізичних властивостей

молекулярних структур – складових комірок пам'яті. Такі молекулярні структури відрізняються від тих, які задіяні для вирішення подібних задач у сучасних комерційних зразках техніки. Подібні розробки вважаються достатньо перспективними, інформація про них присутня на сторінках університетських підручників для галузей комп'ютерних наук у США та країн Західної Європи вже протягом останніх близько 10 років. Загальновідомо, що поява нових технологій, у т.ч. нанотех-

нологій, завжди спричиняє стрибкоподібний прогрес у тих областях, де вони застосовуються. Це у повній мірі стосується робіт із виготовлення зразків нанoeлектронної пам'яті, у т.ч. 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 [6] розміром із шпорокживаний флеш-накопичувач (сантиметрові розміри).

Конструювання нанoeлектронної пам'яті дозволяє виконати аналоги цих пристроїв захисту інформації мінімальних розмірів (мікро- та нанорозміри), придатні до застосування у авіакосмічній галузі.

Крім того, конфіденційність даних у такій системі буде забезпечена набагато краще, ніж у [6]. Технології асемблювання органічних молекул, які демонструють властивості пам'яті, створюють також нові властивості для кодування інформації. Більш детальна інформація із можливостей застосування результатів виконаних робіт для захисту інформації наведена нами у прикінцевому розділі статті.

Вирішуючи задачі створення нанoeлектронної пам'яті, інтенсивні роботи виконують у тому числі шляхом пошуку нових перспективних хімічних сполук – кандидатів на виконання функцій фізичної молекулярної пам'яті, а також шляхом створення нових фізичних моделей відповідних пристроїв та їх нанoeлементів.

Оскільки один з авторів протягом довгих років досліджувала функції молекул ароматичних вуглеводнів – похідних фенолу у структурах природної пам'яті, то результати робіт, наведені нижче, є продовженням цих багаторічних виконаних робіт із досліджень речовин, потенційно придатних на роль елементів штучної молекулярної пам'яті.

Метою даної роботи було розробити теоретичні та методологічні основи створення штучної пам'яті на основі молекул-похідних фенолу як елемента у складі комплексних систем захисту інформації; а також розробити фізичну модель такої пам'яті та пояснити фізичний механізм її функціонування.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Опис прототипів. Відомий спосіб створення елементів нанoeлектронної пам'яті [1], який ґрунтується на тому, що створюють нанoeлектронну матрицю пам'яті; фактично цей запам'ятовуючий пристрій містить масив комірок пам'яті, розташованих у рядах і стовпцях, сконструйованих над субстратом, кожна комірка пам'яті включає в себе перший сигнальний електрод, другий сигнальний електрод і наночастику, розміщену в області перетину між першим сигнальним електродом і другим сигнальним електродом; при цьому утворюється множина смугових ліній, кожна з яких сполучає перші сигнальні електроди ряду комірок пам'яті; та множина бітових ліній, кожна з яких з'єднує електроди другого сигналу зі стовпчика комірок пам'яті.

Недоліками цього способу є те, що невідомі переконливі дані, чи функціонують (та чи справді добре функціонують) такі елементи саме як елементи пам'яті; це ставить під сумнів якість та ефективність роботи такої системи. У прототипі [1] описані елементи, які на мікро- та нанорівнях копіюють відповідні макроструктури, не використовуючи всіх переваг мікро- та нанотехнологій.

Іншим перспективним прототипом є технічне рішення зі створенням наносумішей (нанокомпаннів) для пристроїв пам'яті із компонентів - органічних речовин [2]. Цей прототип являє собою наносуміш (нанокомпанн) із компонентів, які мають властивості пам'яті. Описана суміш з наноконтактів включає в себе метал або його оксид та органічну сполуку, здатну окислювати і відновлювати зв'язок з металом або його оксидом; у прототипі використані органічні сполуки – хіноліни. Цей винахід відноситься також до запам'ятовуючого пристрою, який містить у собі розроблені органічні наноконтакти.

Недоліками способу-прототипу [2] є те, що серед органічних речовин-наноконтактів цього пристрою недостатнє застосування знайшли похідні фенолів із замісниками – поліаміновими ланцюгами різної довжини й різного ступеня складності, застосування яких дозволяє покращити ряд характеристик молекулярної пам'яті. Це ставить під сумнів ефективність роботи системи

пам'яті в прототипі [2] її якість і достовірність отриманих у [2] результатів. Розроблена фізична модель фрагменту штучної молекулярної пам'яті. Для такої фізичної моделі штучної молекулярної пам'яті авторами було запропоновано застосувати молекули-похідні фенолу із замісниками – поліаміновими ланцюгами, лінійними або розгалуженими, різної довжини та складності.

Була розроблена фізична модель молекулярних накопичувачів із властивостями штучної пам'яті, спираючись на вивчені нами механізми взаємодії ароматичних вуглеводнів з бішаровими ліпідними мембранами. В основу такої моделі можна покласти наступні факти, які були зареєстровані авторами та рядом інших дослідників-науковців [5]. 1. Вивчені хімічні сполуки (похідні ароматичних вуглеводнів із замісниками - лінійними поліамінами різної довжини та складності) є амфіфільними речовинами, їх ароматичні групи можуть бути розчинені у гідрофобній ліпідній фазі мембран у складі комірки пам'яті розроблюваного пристрою, а їх поліамінові ланцюги можуть стирчати у навколишній простір. 2. Молекули таких органічних сполук можуть утворювати координаційні комплекси з металами, наприклад, з іонами заліза  $Fe^{3+}$ . 3. Розраховане на основі отриманих авторами експериментальних даних, значення коефіцієнта Хілла становило 0,86, що свідчило про приєднання однієї молекули досліджених сполук (JSTX-3, AR, тощо) до однієї молекули на поверхні мембрани у складі розроблюваного запам'ятовуючого пристрою.

Запропонована й описана нижче фізична модель дозволяє виготовити і випробувати елементи нанопам'яті - технічні пристрої з властивостями "штучної пам'яті". Такі моделі пристроїв можна розглядати як штучні "комірки пам'яті", зібрані з елементів на рівні молекул та молекулярних комплексів. Нові шляхи розробки таких видів штучної пам'яті можна продемонструвати, використовуючи описані нижче моделі.

Кілька років тому було запропоновано декілька подібних методів-прототипів; одним із них був метод побудови наноелектронного масиву елементів пам'яті; два із таких потенційних молекулярних елементів зображені на рисунку 1 (спо-

ука із прототипу (рис.1,а) [1], та запропонована нами (рис.1,б).

Загалом, в основу запропонованого нами елемента нанопам'яті була поставлена задача розробити спосіб створення та тестування фізичної молекулярної пам'яті в анізотропних середовищах з молекулами – похідними фенолу. без описаних недоліків прототипів [1] та [2]. Вирішення цієї задачі, як ми вважаємо, полягає у тому, що необхідно створити плоский фрагмент ліпідної гідрофобної бішарової мембрани та нанести на нього сполуки - похідні фенолів із замісниками – поліаміновими ланцюгами різної довжини й різного ступеня складності, утворивши анізотропний шар з асиметричними властивостями провідності вздовж молекули – похідної фенолу у напрямках до та від фенольного фрагменту. Плоскі фрагменти ліпідної бішарової мембрани можуть бути природного або штучного походження та містити з обох боків ізотропні середовища.

Поставлена задача була вирішена за рахунок того, що була створена та протестована фізична молекулярна пам'ять, що складається із матриці з комірок, утворених шарами – плоскими фрагментами ліпідної гідрофобної бішарової мембрани зі зв'язаними із ними органічними та неорганічними речовинами. Вирішення такої задачі було нами зареєстровано, як два винаходи (корисні моделі) в Україні [3, 4] та детально описано у статті [5]. Один із таких способів [3] характеризується тим, що при його здійсненні виконують такі елементи пам'яті шляхом формування (наслоювання) 2D та/або 3D шарів, які мають ізотропні та анізотропні властивості, причому шари з ізотропними та анізотропними властивостями чергують між собою, а до складу одного чи кількох таких шарів входять пов'язані із ним (ними) молекули похідних фенолу із замісниками – поліаміновими ланцюгами різної довжини та різного ступеня складності; такі молекули можуть бути однаковими або різних типів, штучного або природного походження. Для тестування функцій таких елементів пам'яті нами запропоновано виконувати реєстрацію електричних струмів через них застосовуючи методи patch-clamp та voltage-clamp, які були розроблені раніше у галузі біофі-

зики для реєстрації трансмембранних електричних іонних струмів.

Для виготовлення описуваної системи нами було розроблено кількаетапний процес попередньої обробки ліпідних бішарових мембран та підготовку компонентів з органічних речовин-похідних фенолу. Виконавши послідовно необхідні етапи роботи, було отримано систему, яка є фізичною моделлю пристрою зберігання інформації. Розроблена фізична модель демонструвала властивості штучної «пам'яті» (рис. 1, 2). Вона була подібною до інших з прототипів, які готували за допомогою молекул хіноліну та/або молекул, одержуваних з оліго нітро аніліну (фенілен етилену) (рис. 1, 2). Однак у нашому випадку робота проводилася з використанням інших типів молекул - похідних фенолу (речовин JSTX-3, AR та інших подібних). Запропоновані нами речовини, а саме похідні фенолу із замісниками - поліаміновими ланцюгами різної довжини та складності, необхідно було наносити на поверхню мембран. Такі молекули могли бути однакового чи різного типу, штучного чи природного походження; а дослідні системи формували шляхом нашарування (наслоювання) один-на-один 2D та/або 3D шарів необхідних органічних та неорганічних речовин, які за потребою могли замінювати. Необхідною умовою функціонування такої системи із пам'яттю було те, щоб шари з ізотропними та анізотропними властивостями чергувалися між собою.

Тестування придатності таких зразків до виконання функцій пам'яті проводили експериментальним шляхом. Записи електричних струмів через зразки було зареєстровано. Електричні струми, що протікали через зразок, були асиметричними залежно від того, чи протікали вони вздовж поліамінового ланцюга "до" або "від" фенольного кільця. Для реєстрації та тестування таких елементарних електричних струмів використовували методи patch-clamp та фіксації потенціалу на мембрані. Таким чином, у результаті проведених експериментів, нами було продемонстровано, що створена фізична модель мала властивості зберігання інформації - властивості "молекулярної пам'яті".

Описана вище система являла собою одиночний фрагмент - елемент, який було названо "ко-

міркою" нанопам'яті. Наступним логічним кроком розробки фізичного молекулярного пристрою зберігання інформації, було утворення ансамблю таких елементів, який складався з матриці з "комірок". Кожна із цих "комірок" була утворена з шарів - плоских фрагментів ліпідної гідрофобної двошарової мембрани із поєднаними із нею органічними та неорганічними речовинами.

Як описано вище, кожен із цих елементів виконували шляхом формування (нашарування) 2D та/або 3D шарів, які мали ізотропні та анізотропні властивості. Шари з ізотропними та анізотропними властивостями чергувалися між собою. Один або більше таких шарів містили молекули похідних фенолу із замісниками - поліаміновими ланцюгами різної довжини та складності. Такі молекули могли бути однакових або різних типів, штучного або природного походження. Зразок такого фрагмента штучної пам'яті наведено на рис. 1,б, 2,б для похідного фенолу JSTX-3.

Запропоновані нами методи [3, 4, 5] створюють можливість модифікувати та створити нові типи молекулярних елементів природного та штучного походження для пристроїв молекулярної пам'яті, а також протестувати їх функції, зареєструвавши електричні струми через виконаний зразок методами patch-clamp та фіксації потенціалу на мембрані.

Зареєстровані трансмембранні електричні струми мали асиметричний характер та продемонстрували властивості штучної пам'яті.

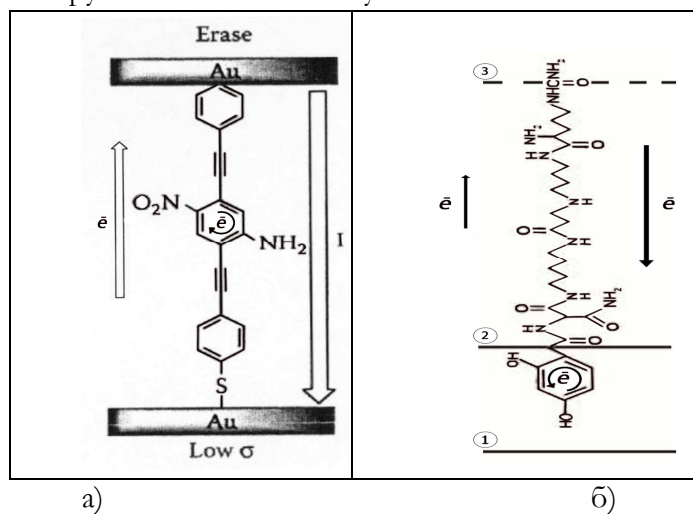


Рис. 1 Елементи молекулярного пристрою штучної пам'яті :а) молекулярний елемент, реалізований у прототипі; б) запропонований елемент з похідним фенолу JSTX-3 [3, 4, 5].

Захоплення електронів у "пастку" схематично показано стрілками у 6-членних циклах.

Цей робочий процес був описаний у наших попередніх публікаціях [3, 4, 5]; розроблені методи захищені патентами України [3, 4]. "Електронна пастка" в штучній молекулярній пам'яті.

В результаті вищеописаних робіт стало можливим запропонувати фізичну модель штучної "молекулярної пам'яті", аналогічної прототипу з молекулами хіноліну [2]. На рис. 1,а (зліва) та рис. 2 а,в представлено фрагменти нанопам'яті з молекул-похідних нітроанілін оліго (фенілен етилену).

Такий прототип було запропоновано у США, натепер продовжуються роботи із підбору найбільш підходящих молекулярних елементів для реалізації таким зразком його функцій як наноелемента штучної пам'яті. В нижній частині рисунку 2 зображено вже готовий зразок цього прототипу пам'яті, а саме його вигляд зверху (рис. 2,в).

Нами запропоновано для цієї ж мети застосувати інше похідне фенолу, природну сполуку-токсин JSTX-3 (рис. 1,б). Механізм пам'яті тут реалізується завдяки ефекту так званої "електронної пастки", який зображено на схемах на рис. 1. Електрони, які формують електричні наноструми, можуть бути захоплені цією "пасткою електронів", якою тут виступає шестичленний цикл фенолу.

Час перебування електронів у таких «пастках» був різним, залежно від їх переміщення у різних напрямках "до" або "від" фенольного циклу та від ряду інших факторів. Тобто, час перебування електронів у таких «пастках» залежав від асиметрії системи. Отже, й елементарні опори електронним струмам в обох напрямках також були різними, реалізуючи "1" або "0" в такому елементарному пристрої зберігання інформації.

Роль асиметрії у фізичній моделі нанопам'яті. Фізична модель нанопам'яті – це система з органічними молекулярними елементами. У модельній системі ми виготовили моношар з анізотропними властивостями (ліпідна двошарова мембрана із застосованим JSTX-3), який розділяв два зотропних середовища. Схематичне зображення фрагмента виготовленої за допомогою JSTX-3

фізичної моделі наведено на рис. 2 вона може розглядатися як система із функціями "пам'яті". Необхідною умовою його функціонування є розділення відсіків системи шаром з анізотропними властивостями (шар II) між двома ізотропними середовищами (шари I і III).

Відповідно, молекулярні структури цього анізотропного середовища самі по собі мають анізотропні властивості. Анізотропні структури повинні мати властивість існування в декількох станах і бути здатними залишатися в одному стані довше, ніж в іншому для реалізації функцій пам'яті.

Деякі органічні молекули демонструють такі властивості. Такі структури довше залишаються в одному із станів порівняно з іншими.

На рис. 3 наведено схематичне зображення блок-схеми експериментальної установки для тестування виготовлених зразків нанопам'яті методом patch-clamp.

На рис. 4,а,б наведено записи трансмембранних електричних струмів; записи виконано із застосуванням методу реєстрації трансмембранних іонних струмів у режимі фіксації потенціалу (рис. 4,а,б).

Можливості захисту інформації при застосуванні запропонованих пристроїв штучної молекулярної пам'яті (нанопам'яті). Виконуючи огляд деяких перспектив застосування наведених вище результатів для захисту інформації, кодування, необхідно зазначити, що такі пристрої можна виконувати із застосуванням компонентів природного або штучного походження [7, 8].

Причому найпростіші зразки таких наноструктур (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 [8]. Продовжуючи на новітньому етапі ці роботи - асемблюючи молекули фенолу та/або інших підходящих органічних сполук на таких плоских 2D структурах, ми розробили зразки наноелектронних пристроїв, захищених патентами України [3, 4]. Необхідно перелічити принаймні кілька із багатьох можливих аплікацій таких пристроїв штучної молекулярної пам'яті (ШМПА, або нанопам'яті).

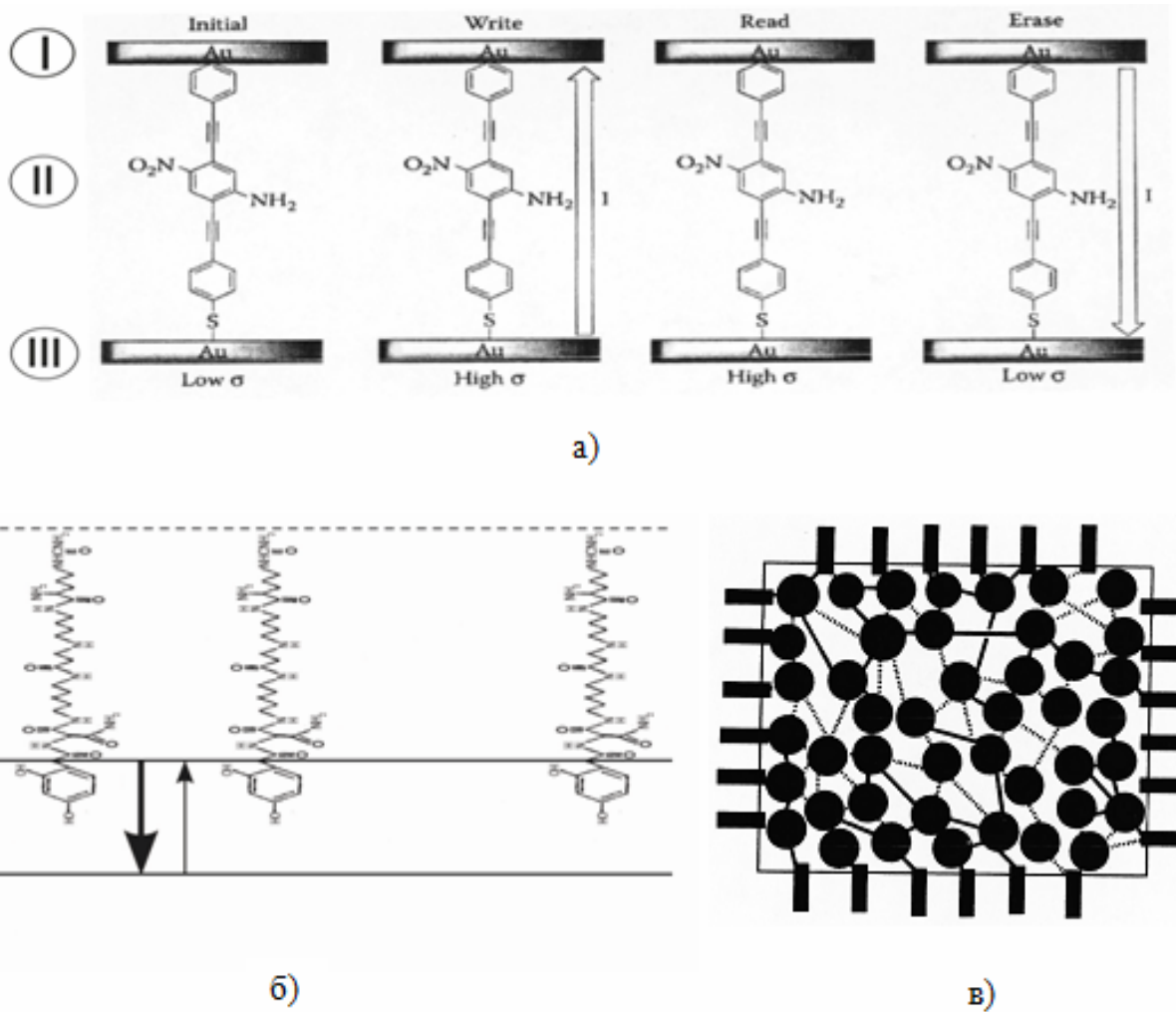


Рис. 2 Зборка елементарних фрагментів нано-пам'яті із органічних молекул [2, 3, 4]: а) прототип у поперечному розрізі; б) фрагмент запропонованого пристрою нанопам'яті з органічними молекулами - похідними фенолу з лінійним замісником – поліаміном. Зображено випадок, у якому застосовано молекули JSTX-3 (але можливо застосування інших молекул з подібними властивостями). Елементарна система з "штучною пам'яттю" повинна бути зібрана з набору ізотропних та анізотропних шарів, які чергуються між собою. I, III - ізотропні середовища, II - анізотропне середовище. в) прототип вигляд згори (пояснення в тексті).

1. Кодування інформації пристроями ШМП. Системи кодування, які можливо реалізувати. Як було показано вище, на розглянутому найпростішому пристрої ШМП просто реалізується кодування у двійковому коді ("0" та "1"). При додаванні іншого компонента (органічних молекул іншого типу) виникає можливість додати ще 2 стани нанопровідності молекул другого типу, назовемо їх, наприклад, символами «р» та «j».

Таким чином можна створити четверичний код, причому "р" та "j" можуть набувати як цілих, так і дробових значень залежно від типу асембльованих молекул і, отже, значень їх нанопровідності. При додаванні послідовно 3-го, 4-го і т.д. типів органічних молекул у систему код можна

ще більше ускладнювати з кратністю "2". Проте, із нашої точки зору, значне ускладнення системи недоцільне, оскільки при цьому надійність передачі даних знижується внаслідок підвищення рівня шумів та ін.

2. Функції "ключ-замок" пристрою ШМП та захист інформації. Захист інформації у сегментах інформаційної мережі пристроями ШМП можна реалізувати наступним чином. При внесенні пристрою з ШМП з цілком певним типом молекул до інформаційної мережі (принаймні, кабельної) можна специфічно «відключити» певний сегмент пристроями ШМП, запобігаючи витоку даних.

Тобто, специфічність органічних молекул, асембльованих у ШМП 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 конфідентційністю та доступністю інформації у системі) виступає пристрій ШМП саме з тим специфічним набором

молекул, який було обрано у якості "ключа".

3. Конфідентційність інформації при застосуванні пристроїв ШМП. Підвищення рівня конфідентційності інформації при застосуванні пристроїв ШМП можна досягти, асемблюючи специфічно відібрані типи молекул у його складі, перемішуючи їх і т.д.

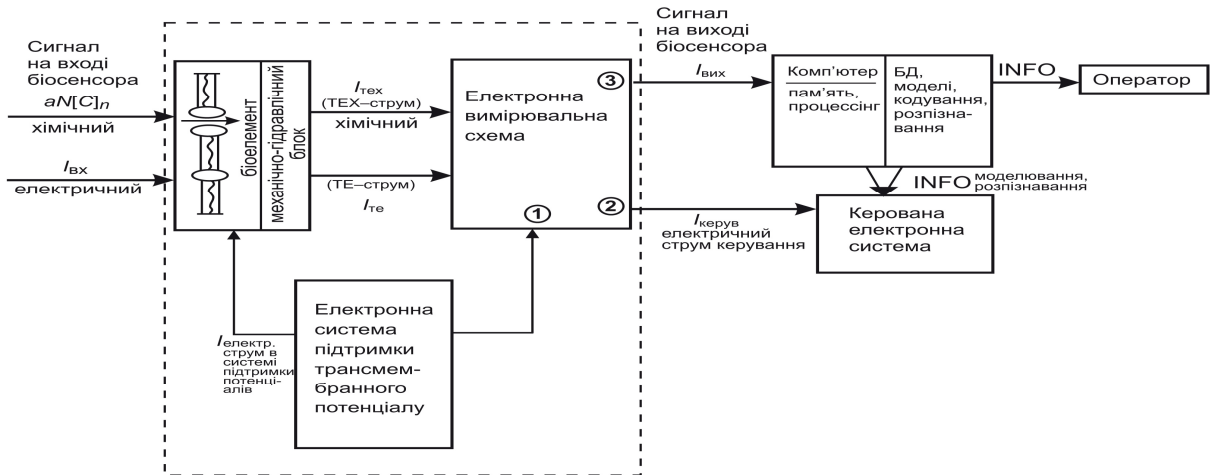


Рис. 3 Блок-схема експериментальної установки для тестування виготовлених зразків нано-пам'яті методом patch-clamp. На вхід системи інформація надходить у вигляді електричних або хімічних сигналів, на виході інформацію реєструють у вигляді електричних сигналів.

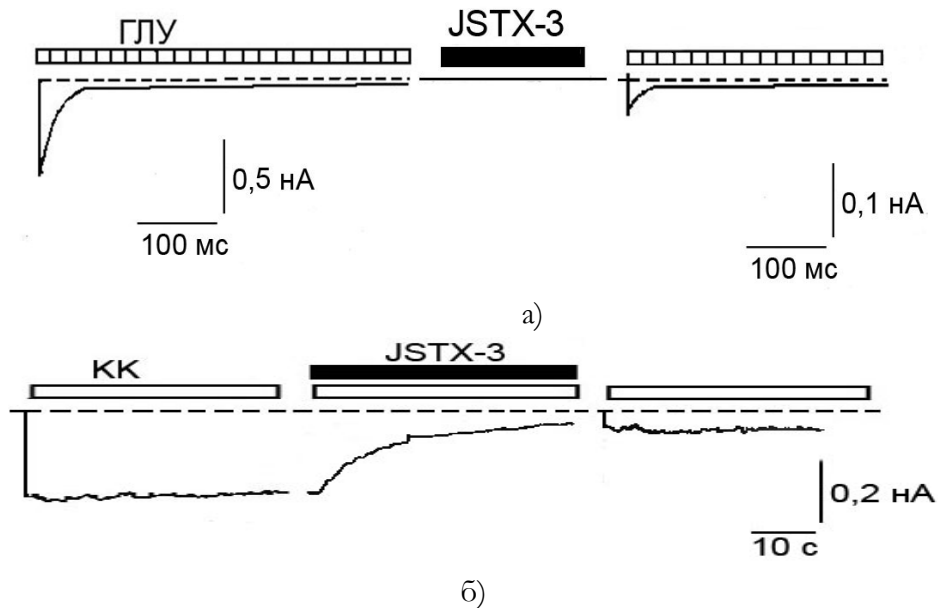


Рис. 4 а) експериментальні підтвердження розробленого способу та відповідного зразка – запис електричних трансмембранних струмів, що виникають при дії на бішарову ліпідну мембрану нейронів глутамату (Глу) та, після цього, при дії JSTX-3. б) запис електричних трансмембранних струмів, що виникають при дії на бішарову ліпідну мембрану нейронів речовиною кайнатом (КК) при наступній за цим дії JSTX-3. Після відповіді на КК діяли JSTX-3 на фоні КК-активованого електричного струму. Концентрація Глу та КК дорівнює по 1 ммоль/л, концентрація JSTX-3 дорівнює 10<sup>-4</sup> моль/л. Підтримуваний потенціал – 50 мВ. Відповідні вихідні струми-відповіді зареєстровані при застосуванні розробленого нами способу. Скорочення: Глу – глутамат, КК – кайнат, JSTX-3 - одне із похідних фенолу з поліаміновим ланцюгом (пояснення див. у тексті).

Оскільки інформація, що «пропускається», строю ШМП, то можна до певної міри задавати напрямку залежить від типів молекул у складі пристрою ШМП, то можна до певної міри задавати або контролювати цю інформацію. Натепер ви-

конана робота носить здебільшого теоретичний характер, хоча окремі її частини були здійснені на практиці (рис. 3, 4).

Якщо виходити із загальновідомого означення поняття «інформаційної безпеки, як практики запобігання несанкціонованому доступу, використанню, розкриттю, спотворенню, зміні, дослідженню, запису або знищенню інформації».

Це універсальне поняття застосовується незалежно від форми, яку можуть приймати дані (електронна або, наприклад, фізична). І далі: "Основне завдання інформаційної безпеки - збалансований захист конфіденційності, цілісності і доступності даних" то наведені у даній статті результати цілком відповідають цим визначеним критеріям.

### ВИСНОВКИ

У даній статті описано попередні результати розробки фізичної моделі нанопам'яті, а також принципи її функціонування. Для виготовлення системи ми розробили кількаетапний процес обробки вихідних матеріалів - фрагментів двошарових мембран, поєднаних із деякими органічними речовинами. Ми отримали систему, яка є фізичною моделлю нанопам'яті. Розроблена фізична модель демонструвала властивості штучної "пам'яті" (рис. 1, 2). Вона була подібною до інших прототипів, які виготовляли за допомогою молекул хіноліну та/або молекул-похідних нітроанілін оліго (фенілен етилену). Однак у нашому випадку було застосовано молекули інших типів - похідні фенолу (JSTX-3, AR та деякі інші). На поверхню мембран наносили такі речовини, які являють собою похідні фенолу із замісниками - поліаміновими ланцюгами різної довжини та складності. Такі молекули можуть бути однакового чи різного типу, штучного чи природного походження. Виготовлені нами системи були сформовані шляхом нашарування один на одного 2D та/або 3D наборів шарів органічних та неорганічних речовин, які можна було замінювати. Шари з ізотропними та анізотропними властивостями повинні чергуватися один з одним. Випробування функціонування таких зразків проводили шляхом запису електричних іонних струмів, які проходили через них. Струми були

асиметричними залежно від того, чи протікали вони по поліаміновому ланцюгу "до" чи "від" фенольного циклу. Для реєстрації та випробування таких елементарних електричних струмів використовували методи patch-clamp та реєстрації трансмембранних іонних струмів у режимі фіксації потенціалу. Запропонована нами фізична модель продемонструвала властивості зберігання інформації - властивості "молекулярної пам'яті". Проте деякі отримані дані носять попередній характер. Для виготовлення промислових зразків необхідно виконати великий об'єм подальших робіт.

Технічний результат, який може бути отриманий при здійсненні розробки, полягає у тому, що запропонований спосіб дозволяє модифікувати та утворювати нові елементи пам'яті природного та штучного походження, а також виконувати тестування їх функціонування шляхом реєстрації електричних струмів через утворений зразок. Зареєстровані струми мають асиметричний характер, демонструючи властивості пам'яті зразка. Перевага представленого молекулярного пристрою зберігання та способу полягала також у тому, що вітчизняна хімічна промисловість може виробляти всі компоненти запропонованої системи, а їх виробництво коштує недорого. Розроблені методи та пристрої захищені патентами України на корисні моделі. Запропонована розробка відкриває нові можливості для захисту даних у інформаційних системах. У статті наведено конкретні приклади можливої реалізації захисту інформації запропонованими пристроями на основі штучної молекулярної пам'яті.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Bao Tran. *Nano-Electronic Memory Array*. Patent US200 80239791A1. Priority: 2004-04-06. Applied: 2008-10-02; pending – 2018.
- [2] Chun-Jung Chen, Gue-Wuu Hwang, Ching Ting, Yi-Jen Chan, Zing-Way Pei, Chia-Chieh Chang, Chen-Pang Kung. *Nano compounds and organic memory devices comprising the same*. Patent US76418-20B2. Priority: 2006-04-26. Applied: 2007-11-01; pending - 2010.
- [3] Ключко О.М., Білецький А.Я., Шутко В.Н. *Спосіб виготовлення фізичної молекулярної пам'яті в анізотропних середовищах з молекулами-похідними фенолу*. Патент UA 135531 U; B82Y 40/00, B82Y 10/00, H01B 1/12, C12Q 1/00, G11C 13/00 –



- Опубл: 10.07.2019, Бюл. 13.
- [4] Ключко О.М., Білецький А.Я. *Спосіб виготовлення фізичної молекулярної пам'яті в анізотропних середовищах з молекулами-похідними фенолу та індолу*. Патент UA 141034 U; H01B1/00, B82B3/00, B82Y 10/00. – Опубл: 25.03.2020, Бюл. 6.
- [5] O.M. Klyuchko. Aromatic hydrocarbons of Arthropoda species: mechanisms of action on biological membranes and perspectives of biomedical application. *Biotechnologia Acta*, K, 2020, V.13. – №2 – pp.12-31.
- [6] Ключко О.М. Медична інформаційна система моніторингу стану здоров'я населення із захистом персональних даних. *Медична інформатика та інженерія*, К., 2020, V.49. – №1 – С. 17-28.
- [7] Ключко О.М. *Інформаційно-комп'ютерні технології в біології та медицині*. К: НАУ-друк. 2008. - 252 с.
- [8] Лев А. А. *Моделирование ионной избирательности клеточных мембран*. Л: Наука. 1976. - 210 с.

#### РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ: ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСКУССТВЕННОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ – ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА

Поисковые и инженерные работы, целью которых является создание элементов и устройств наноэлектронной памяти (физической молекулярной памяти) на данный момент являются чрезвычайно актуальными. Интенсивные работы в этом направлении выполняют, в том числе и путем поиска новых перспективных химических соединений - кандидатов на выполнение функций элементов физической молекулярной памяти, а также путем создания новых физических моделей соответствующих устройств и их нано-элементов. Целью данной работы было предложить новый тип химических соединений ряда производных фенола, которые могут быть применены для выполнения функций молекулярной памяти для наноэлектронных устройств, а также разработать физическую модель такой памяти и объяснить механизм ее функционирования. Для описанной физической модели искусственной молекулярной памяти предложено применить молекулы - производные фенола с заместителями - полиаминовыми цепями, линейными или разветвленными, различной длины и сложности. Была разработана физическая модель молекулярных накопителей со свойствами искусственной памяти. Технический результат, который может быть получен при осуществлении таких работ заключается в том, что предложенный способ позволяет модифицировать и создавать новые элементы памяти искусственного происхождения, а также выполнять тестирование их функционирования путем регистрации электрических токов через созданный образец. Зарегистрированные токи имеют асимметричный характер, демонстрируя свойства памяти об-

разца. Предложенная разработка открывает новые возможности для защиты информации в подобных информационных системах.

**Ключевые слова:** физическая модель, искусственная молекулярная память, нано-электронная память, химические соединения, производные фенола.

#### SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASIS OF INFORMATION PROTECTION DEVELOPMENT: PHYSICAL MODEL OF ARTIFICIAL MOLECULAR MEMORY BASED ON PHENOL DERIVATIVES

Exploration and engineering work aimed at creating of elements and devices of nanoelectronic memory (physical molecular memory) are extremely relevant nowadays. Intensive works in this direction is carried out, including ones by finding of new promising chemical compounds - candidates for the functions of physical molecular memory elements, as well as by creating new physical models of relevant devices and their nanoelements. The aim of this work was to propose a new type of chemical compounds of phenol derivatives set that could potentially be used to perform the functions of molecular memory for nano-electronic devices, as well as to develop a physical model of such memory and to explain its mechanism. For the described physical model of artificial molecular memory, it is proposed to use molecules - phenol derivatives with substituents - polyamine chains, linear or branched, of different length and complexity. A physical model of molecular storage devices with artificial memory properties has been developed. Technical result that could be obtained by such work performing is that the proposed method allows to modify and to create new memory elements of artificial origin, as well as to test their functioning by the registration of electric currents through the formed sample. The recorded currents were asymmetric, demonstrating the properties of memory of the sample. The proposed invention opens new opportunities for the information protection in such information systems.

**Keywords:** physical model, artificial molecular memory, nano-electron memory, chemical compounds, phenol derivatives.

**Білецький Анатолій Якович**, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри електроніки, робототехніки та технологій моніторингу та Інтернету речей Національного авіаційного університету.

E-mail: abelnau@ukr.net.

<https://orcid.org/0000-0002-3798-8150>.

**Белецький Анатолій Яковлевич**, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Гос. премії України в області науки і техніки, професор кафедри електроніки, робототехніки та технологій моніторингу та Інтернету речей Національного авіаційного університету.

**Beletsky Anatoly**, Doctor of Science, Professor, Honored Scientist of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Department of Electronics, Robotics, Monitoring and IoT Technologies, Professor, National Aviation University.

**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 и интернета мониторинга вещей Национального авиационного университета.

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

**Шутко Володимир Миколайович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроніки, робототехніки та технологій моніторингу та Інтернету речей Національного авіаційного університету.

E-mail: vnshutko@ukr.net.

Orcid ID: 0000 0002 9761 5583.

**Шутко Владимир Николаевич**. Доктор технических наук, Профессор, заведующий кафедры кафедры электроники, робототехники и технологий мониторингу и Интернета вещей Национального авиационного университета.

**Shutko Vladimir**. Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of Electronics, Robotics, Monitoring and IoT Technologies of the Software Engineering Department National aviation university.

**Колганова Елена Олеговна**, кандидат технічних наук, асистент кафедри інженерії програмного забезпечення Національного авіаційного університету.

E-mail: kolganovae79@gmail.com.

Orcid ID: 0000 0002 1301 9611.

**Колганова Елена Олеговна**, кандидат технических наук, ассистент кафедры инженерии программного обеспечения Национального авиационного университета.

**Kolganova Olena**, Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor of the Software Engineering Department National aviation university.

DOI: [10.18372/2410-7840.22.14979](https://doi.org/10.18372/2410-7840.22.14979)

УДК 004.056

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОШИРЕННЯ ТА НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВПЛИВІВ У СЕГМЕНТІ СОЦІАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

*Олександр Улічев, Єлизавета Мелешко*

*У даній роботі проведено дослідження існуючих методів генерації структури соціальних мереж, запропоновано метод генерації сегменту соціальної мережі з можливістю вибору різної кількості та типів кластерів, а також здійснено моделювання процесів поширення та нейтралізації інформаційних впливів в сегменті соціальної мережі з наперед заданими особливостями топології мережі. Проведено серію експериментів для моделювання поширення та нейтралізації інформаційних впливів з застосуванням різних поведінкових стратегій агентами впливу у соціальній мережі з метою виявлення найбільш ефективних дій для поширення таких впливів. Всього було проведено три серії експериментів. Перша серія експериментів проводилася для порівняння ефективності поширення інформаційних впливів при різних структурних положеннях агента впливу у сегменті соціальної мережі. Друга серія експериментів проводилася з метою порівняння ефективності інформаційних впливів при різній кількості контрагентів, що протидіють ворожому інформаційному впливу. Третя серія експериментів мала на меті порівняння ефективності протидії інформаційному впливу при блокуванні різної кількості соціальних зв'язків ворожого агента впливу. Встановлено, що ефективність інформаційного впливу та розповсюдження інформації у соціальній мережі залежить не лише від особистих якостей агента впливу, наприклад, його репутації, але й від структурного положення та характеристик вузлів з околу агента впливу. Експерименти показують, що навіть при найвигіднішому положенні і високому потенціалі інформаційного впливу, агенту впливу можна протидіяти або ж шляхом залучення контрагентів, або шляхом блокування його соціальних зв'язків.*

**Ключові слова:** соціальні мережі, моделі генерації мереж, інформаційні впливи, інформаційна безпека, агенти впливу, лідери думок, інформаційне протиборство.