

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Державного університету «Київський
авіаційний інститут»
доктору технічних наук, професору
Гнатюку Сергію Олександровичу

В І Д Г У К

офіційного опонента Лакна Валерія Анатолійовича

на дисертацію Терейковського Олега Ігоревича «Нейромережеві методи та моделі
біометричної автентифікації в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 125 - Кібербезпека галузі знань 12 - Інформаційні технології

Актуальність. Рецензована дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі, яка полягає у розробці та дослідженні нейромережевих моделей та методів розпізнавання особи за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока, що забезпечать підвищення ефективності засобів біометричної автентифікації в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури. Важливість обраного напрямку дослідження підтверджується його відповідністю пріоритетам державної політики у сфері кібербезпеки. Робота безпосередньо корелює з вимогами Законів України «Про критичну інфраструктуру», «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України», а також положеннями «Стратегії кібербезпеки України» щодо посилення кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури. Попри значну кількість розробок у сфері біометрії, існуючі засоби біометричної автентифікації в умовах реальної експлуатації на об'єктах критичної інфраструктури часто демонструють недостатню ефективність через високу ймовірність похибок та вразливість до спуфінг-атак. Більшість сучасних систем використовують нейромережеві технології аналізу лише зображення обличчя. Автор дисертації слушно зазначає, що розвиток відеофіксації високої роздільної здатності створює технічні передумови для мультимодальної автентифікації - одночасного аналізу зображення обличчя та райдужної оболонки ока в межах єдиного відеопотоку. Такий підхід дозволяє значно знизити похибку розпізнавання та підвищити стійкість системи до спроб несанкціонованого доступу. Особливої уваги заслуговує запропоноване автором впровадження сервісу розпізнавання емоцій. Це дозволяє не лише ідентифікувати особу, а й оцінювати психоемоційний стан персоналу, що є критично важливим для забезпечення належного виконання обов'язків на об'єктах з підвищеним рівнем ризику. З огляду на вищезазначене, дисертаційне дослідження Терейковського О.І., присвячене створенню методів і моделей, що поєднують аналіз зображення обличчя, райдужної оболонки ока та розпізнавання емоцій за допомогою апарату нейронних мереж, є надзвичайно актуальним. Розв'язання поставлених у роботі завдань має як теоретичне значення для розвитку галузі 12 «Інформаційні технології», так і практичне значення для вдосконалення комплексних систем захисту інформації на об'єктах критичної інфраструктури України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Одержані результати дисертаційної роботи використано при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи Державного університету «Київський авіаційний інститут» («Система забезпечення кібербезпеки та стійкості об'єктів критичної інфраструктури», №ДР 5-2024/18.02, 2024-2025 рр.). Зокрема, у ході виконання науково-дослідної роботи використано метод побудови засобів семантичної сегментації зображення обличчя, що забезпечив підвищення точності виділення контурів обличчя в 1,2-1,25 рази та забезпечив можливість приблизно в 10 разів зменшити обсяг експериментальних досліджень, спрямованих на визначення архітектурних параметрів нейромережевої моделі.

Оцінка обґрунтованості змісту дисертації, її завершеності.

Викладені наукові положення, висновки і рекомендації є повністю обґрунтованими, а достовірність теоретичних положень підтверджується експериментальними даними та результатами верифікації запропонованих моделей та методів. Дані, отримані під час експериментів, відповідають теоретичним висновкам роботи і повністю підтверджують їх. Дисертація написана українською мовою. Всі етапи роботи описані послідовно та змістовно, з чітко сформованою думкою та доступністю сформованого матеріалу.

У **вступі** представлена загальна характеристика дисертаційної роботи, обґрунтовано її актуальність, наведено мету і задачі дослідження, описано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, наведено дані щодо впровадження, апробації та опублікування основних результатів.

У **першому розділі** розглянута проблематика використання засобів біометричної автентифікації в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури, проведено детальний аналіз науково-прикладних рішень в області біометричної автентифікації за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока та здійснено критичний огляд науково-прикладних рішень в області підвищення ефективності засобів аналізу зображень.

У **другому розділі** розроблено модель процедури розпізнавання особи за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока при біометричній автентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури з застосуванням нейромережевих засобів, що дозволила деталізувати перспективні шляхи підвищення ефективності нейромережевих засобів біометричної автентифікації. Також розроблено модульну нейромережеву модель біометричної автентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури за зображенням обличчя, що забезпечила можливість побудови ефективного нейромережевого методу біометричної автентифікації. Зокрема розроблена модульна нейромережева модель дозволила врахувати у означеному методі розширений перелік ознак розпізнавання спуфінг-атак та необхідність забезпечення оперативності розробки нейромережевих засобів біометричної автентифікації. Крім того, у другому розділі розроблено модель семантичної сегментації зображення обличчя, що забезпечила можливість розробки ефективного методу побудови нейромережевих засобів семантичної сегментації зображення обличчя, адаптованого до умов біометричної автентифікації на об'єктах критичної інфраструктури.

У **третьому розділі** сформовано систему правил визначення архітектурних параметрів нейромережевої моделі семантичної сегментації, яка забезпечує можливість розробки формалізованих механізмів вибору типу нейромережевої моделі та параметрів її навчання з урахуванням обчислювальних обмежень, допустимого терміну сегментації, характеристик

вхідних зображень, дисбалансу класів, варіативності умов навчання і вимог до точності, що дозволяє уникнути суперечностей між архітектурними рішеннями та стратегіями оптимізації. Базуючись на означеній системі правил, розроблено метод побудови нейромережових засобів семантичної сегментації зображення обличчя при біометричній автентифікації, який передбачає поетапну адаптацію як типу, так і конструктивних параметрів нейромережової моделі у межах обраного типу, що реалізується в напрямку зменшення архітектурної складності. Це дозволяє вже на першому етапі оцінити придатність базової архітектури щодо досягнення цільових показників в очікуваних умовах застосування. Використаний в методі механізм динамічного коригування параметрів навчання забезпечує можливість досягти стабільної збіжності, уникнути перенавчання та ефективно використовувати обчислювальні ресурси. Крім того, в третьому розділі розроблено нейромережовий метод біометричної автентифікації за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури, який реалізує багатокрокову адаптивну обробку відеопотоку, включно із процедурою семантичної сегментації, що забезпечує комплексне виконання ключових процедур, необхідних для забезпечення ефективної автентифікації в варіативних умовах застосування.

У **четвертому розділі** розроблено архітектуру системи біометричної автентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока. Дана система ґрунтується на раніше розробленому нейромережовому методі біометричної автентифікації, а опис її функціональних вимог з використанням UML-діаграми прецедентів, пов'язаних із семантичною сегментацією зображень обличчя, а також із необхідністю виявлення та розпізнавання спуфінг-атак за природністю емоцій і артефактами зовнішнього оточення, забезпечує підґрунтя для підвищення ефективності системи біометричної автентифікації в ракурсі впровадження в неї відповідних сервісів. На основі вказаної системи розроблено апаратно-програмні засоби, які дають змогу оцінити: ефективність нейромережових засобів на базі Siamese Network та Two_channel Networks для розпізнавання особи за райдужною оболонкою ока та для розпізнавання спуфінг-атак за артефактами зовнішнього оточення; ефективність застосування засобів семантичної сегментації в процесі розпізнавання особи; ефективність нейромережових засобів на базі PNN для розпізнавання спуфінг-атак за природністю емоцій. Використавши означені засоби, проведено експерименти, що забезпечили верифікацію дисертаційних рішень.

У **висновках** стисло сформульовано основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У **додатках** вміщено акти впровадження результатів дисертаційного дослідження та лістинг програмного застосунку для сегментації зображення.

Текст дисертації викладено грамотною технічною мовою логічно і послідовно. Стиль викладення доказовий. В цілому дисертація є закінченою науковою роботою.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог Наказу МОН України від 12 січня 2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційної роботи, на мою думку, перш за все, полягає у наступному:

- вперше розроблена модульна нейромережева модель біометричної автентифікації, що за рахунок співвіднесення функціоналу модулів із виконанням завдань біометричної автентифікації, які доцільно виконувати за допомогою окремої нейронної мережі, з урахуванням можливості використання апробованих вільно доступних нейромережевих засобів, адаптованих до очікуваних умов застосування, забезпечує можливість побудови ефективного нейромережевого методу біометричної автентифікації за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури, з урахуванням необхідності розпізнавання спуфінг-атак та забезпечення оперативності розробки відповідних нейромережевих засобів;

- вперше розроблено метод побудови нейромережевих засобів семантичної сегментації зображення обличчя при біометричній автентифікації, що за рахунок поетапної адаптації типу та конструктивних параметрів нейромережевої моделі до умов застосування в напрямку зменшення архітектурної складності та за рахунок використання механізму динамічного коригування параметрів навчання, дозволяє підвищити точність виділення недеформованих завадами контурів зображення обличчя та зменшити обсяг складних довготривалих експериментів, спрямованих на визначення архітектурних параметрів нейромережевої моделі;

- отримала подальший розвиток модель процедури розпізнавання особи за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока при біометричній автентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури з застосуванням нейромережевих засобів, що за рахунок реалізації формалізованого опису процедури розпізнавання, конкретизації параметрів умов відеореєстрації, конкретизації параметрів оцінювання ефективності і чинників впливу на ефективність процесу нейромережевого розпізнавання особи та розроблених підходів до визначення параметрів завад для розпізнавання особи і емоцій, розпізнавання атак за допомогою муляжів та побудови модульної нейромережевої моделі, дозволила деталізувати перспективні шляхи підвищення ефективності нейромережевих засобів біометричної автентифікації;

- отримав подальший розвиток нейромережевий метод біометричної автентифікації за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури, що за рахунок адаптації параметрів обробки відеопотоку до поточних значень показників відображення, обґрунтованого використання апробованих наперед навчених нейромережевих моделей, фільтрації зображення обличчя та райдужної оболонки від типових завад шляхом застосування процедури семантичної сегментації з наступним поелементним маскуванням піксельних значень та за рахунок аналізу ознак спуфінг-атак, з урахуванням артефактів зовнішнього оточення та динаміки емоційного стану, забезпечує можливість зменшення похибки розпізнавання особи, дозволяє здійснювати розпізнавання спуфінг-атак за розширеним переліком ознак, доповнює функціональні можливості системи біометричної автентифікації за рахунок розпізнавання емоцій та забезпечує можливість оперативної розробки відповідних нейромережевих засобів.

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій.

Високий рівень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, обумовлюється строгістю використання математичного апарату та коректністю застосування методів дослідження, що ґрунтуються на методологічному базисі теорії захисту інформації, нейронних мереж, складних систем, розпізнавання образів,

кодування, прийняття рішень, моделювання, цифрової обробки сигналів, біометрії, методах імітаційного моделювання, об'єктно-орієнтованого проектування, теорії алгоритмів, програмування та планування експерименту.

Достовірність результатів теоретичних викладень, що відображені автором в запропонованих моделях та методах, перевірені експериментально з використанням відповідних апаратно-програмних рішень.

Оцінка висновків здобувача щодо значущості його праці для науки й практики.

Наукова значимість дисертаційної роботи полягає у тому, що отримано нове рішення наукового завдання розробки та дослідження нейромережових моделей та методів розпізнавання особи за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока, що забезпечують підвищення ефективності засобів біометричної автентифікації в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури. Практичне значення одержаних автором результатів полягає у тому, що запропоновані нейромережові моделі та методи біометричної автентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока забезпечили можливість розробки системи біометричної автентифікації на об'єкті критичної інфраструктури, ефективність якої приблизно в 1,1 рази перевищує ефективність найкращих відомих систем подібного призначення. Розроблені програмні застосунки, що реалізують запропоновані моделі та методи, дозволяють здійснювати сегментацію обличчя та проводити розпізнавання особи і емоцій. Практична цінність роботи підтверджується впровадженням дисертаційних рішень в діяльність Державного університету «Київський авіаційний інститут» при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи «Система забезпечення кібербезпеки та стійкості об'єктів критичної інфраструктури» (№ДР 5-2024/18.02, 2024-2025 рр.) (акт впровадження від 12.01.2026) та в навчальному процесі кафедри кібербезпеки факультету комп'ютерних наук та технологій (акт впровадження від 12.01.2026). Також отримані результати впроваджені в діяльність ТОВ «АНТЕ МЕДІАМ» (акт впровадження від 11.09.2025), Львівської торгово-промислової палати (акт впровадження від 12.03.2026), ТОВ «Науково-виробниче підприємство хімічних продуктів» (акт впровадження від 16.06.2025), ТОВ «Айті Курсор» (акт впровадження від 27.11.2025), ТОВ «ОПТОЕЛЕКТРОНІКА» (акт впровадження від 24.12.2025).

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота Терейковського О.І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 125 - Кібербезпека галузі знань 12 - Інформаційні технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, що свідчить про наявність особистого внеску здобувача у розробку теоретико-методологічних та прикладних засад побудови нейромережових засобів мультимодальної біометричної автентифікації для захисту інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури.

Як свідчить звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Терейковського О.І. є результатом самостійних досліджень здобувача, що не мстить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Матеріали та результати досліджень інших

авторів, що згадуються в тексті дисертації, наведені з обов'язковим і належним посиланням на використані літературні джерела.

Повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення дисертації опубліковано у 20 наукових працях. Зокрема 13 статей у наукових журналах, 6 з яких проіндексовані в міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science. Також отримані результати були представлені в 7 публікаціях у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій. Крім того, наукові результати дисертації додатково відображені у матеріалах 4 міжнародних науково-технічних конференцій, а їхня практична цінність підтверджується отриманим свідоцтвом про авторське право на твір.

Недоліки та зауваження по роботі.

1. В дисертації недостатньо повно розглянуто можливість інтеграції до розробленої системи додаткових біометричних параметрів, зокрема голосу персоналу тощо, що могло б підвищити стійкість системи біометричної автентифікації.

2. Впровадження сервісу розпізнавання емоцій для оцінки психоемоційного стану персоналу є вагомою перевагою роботи. При цьому розширення спектру емоцій, що підлягають розпізнаванню, дозволило б підвищити ефективність розпізнавання спуфінг-атак.

3. У тексті дисертації опис архітектури використаних нейронних мереж, процедур їхнього навчання та оптимізації параметрів можливо було б навести більш розгорнуто для детального теоретичного обґрунтування вибору значень конструктивних параметрів.

4. У четвертому розділі дисертації при аналізі результатів експериментальних досліджень, зокрема, наведених на рис. 4.5, спостерігаються окремі ділянки зниження точності на валідаційній вибірці. У зв'язку з цим доцільно було б більш детально обґрунтувати причини виникнення таких коливань точності на окремих етапах навчання нейромережевої моделі.

5. Експериментальні дослідження сумісного розпізнавання за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока виконано переважно для видимого діапазону світла. При цьому оцінка ефективності роботи запропонованих методів в умовах використання інфрачервоного освітлення дозволила б розширити межі практичного застосування системи у специфічних умовах експлуатації на об'єктах критичної інфраструктури.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота Терейковського Олега Ігоревича «Нейромережеві методи та моделі біометричної автентифікації в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури» є самостійною завершеною науковою роботою. В дисертації отримано нові науково обґрунтовані результати, які вирішують науково-прикладну задачу розробки та дослідження нейромережевих моделей та методів розпізнавання особи за зображенням обличчя та райдужною оболонкою ока, які забезпечують підвищення ефективності засобів біометричної автентифікації в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури, що в сукупності є значним досягненням для розвитку інформаційних технологій.

Матеріал дисертації викладено послідовно, стиль викладання доказовий, чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому тісно пов'язані з їх змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати дисертації.

Таким чином, дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 №44, а її автор Терейковський Олег Ігорович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 – Кібербезпека галузі знань 12 – Інформаційні технології.

Офіційний опонент:

професор кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки
Національного університету біоресурсів і природокористування України,
доктор технічних наук, професор

Валерій ЛАХНО

