

## ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., професора Зайченка Ю. П. на дисертаційну роботу  
Ковтуна В'ячеслава Васильовича «Інформаційні технології для підвищення  
гарантоздатності інформаційних систем критичного застосування із  
автентифікацією суб'єкта за голосом»,  
що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

### Актуальність теми дисертації

Інформаційні системи критичного застосування являють собою комп’ютеризовані системи спеціального призначення і утворюються з’єднаною в єдину мережу множиною ЕОМ, утвореною такими класами обчислювальних пристрій як фронтенд сервер, сервер даних і периферійний (кінцевий) термінал тощо. Через постійне зростання складності та ступеню інтелектуалізації технічних засобів таких інформаційно-управляючих систем, проблема підвищення надійності, безпечності та, зрештою, гарантоздатності інформаційні системи критичного застосування лише загострюється.

Зокрема, над підвищенням надійності та безпеки інформаційно-управляючих комп’ютеризованих систем працюють наукові колективи започатковані такими вченими як Дж. фон Нейман, К. Шеннон, Р. Барлоу, Ф. Прошан, І. О. Ушаков, Г.В. Дружинін, В. П. Тарасенко, В. С. Харченко, В. М. Лукашенко, Н. І. Алішов та іншими. Підвищення надійності, безпечності та гарантоздатності спеціалізованих комп’ютерних інформаційних систем може бути досягнуто за рахунок застосування автентифікації суб’єктів-користувачів за їх біометричними ознаками, зокрема, за голосом.

Проте, враховуючи критичне застосування таких систем, питання впровадження біометрично-орієнтованого захисту необхідно достатньо теоретично обґрунтувати у вигляді відповідних моделей, методів та інформаційних технологій. Отже, задача підвищення гарантоздатності спеціалізованих інформаційно-управляючих систем за рахунок використання технології автентифікації суб’єкта за голосом є недостатньо дослідженою і такою, що потребує розробки нових засобів, методів і моделей при створенні таких комп’ютеризованих систем і їх компонентів та, відповідно, є актуальною.

### Мета і основні завдання дослідження

Метою дисертаційної роботи є підвищення гарантоздатності інформаційної системи критичного застосування з автентифікацією суб’єкта за голосом шляхом розроблення і реалізації методів і засобів для оптимізації такого класу систем за обраним атрибутом гарантоздатності. Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовано і вирішено такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан проблемно-орієнтованого моделювання інформаційних систем критичного застосування з позицій гарантоздатності та оцінити вплив від застосування біометричних методів автентифікації суб’єктів-

користувачів, зокрема, за голосом, на значення конфіденційності як атрибуту гарантоздатності;

- узагальнити положення цифрового оброблення сигналів, математичної статистики і теорії фонації в інформаційній технології автентифікації суб'єкта за індивідуальністю голосу;
- аналітично описати міру розрізnenня між еталонним і емпіричним образами в параметричному просторі індивідуальності голосів;
- формалізувати процес компенсації шумів у фонограмі мовного сигналу в контексті задачі автентифікації суб'єкта за голосом;
- формалізувати і оптимізувати модель процесу класифікації в задачі автентифікації суб'єкта за мовним сигналом із шумом на основі застосування технологій машинного навчання;
- створити концепцію забезпечення конфіденційності сеансу суб'єкт-інформаційна система з двохфакторною авторизацією, зокрема, із верифікацією суб'єкта-користувача за голосом в якості другого фактору;
- формалізувати задачі оптимізації інформаційної системи критичного застосування за обраним атрибутом гарантоздатності із постановкою відповідних задач математичного програмування та вибрati відповідні методи їх вирішення.

### **Основні результати та наукова новизна дисертаційних досліджень**

Наукова новизна результатів, отриманих у дисертаційній роботі, полягає у тому, що автором

*вперше:*

- запропоновано інформаційну технологію автентифікації суб'єкта за індивідуальністю голосу, відмінністю якої є те, що мовний сигнал представляється сумою модулювального і полігармонійного несного коливань в системі квазідетермінованих або стохастичних моделей індивідуальності голосу. Це дозволяє отримати компактний, інформативний і адекватний параметричний опис індивідуальності сегментів з високим і помірним рівнем вокалізації.

- запропоновано метод оцінювання рівня відношення сигнал/шум у емпіричному мовному сигналі, в якому, на відміну від інших, мовний сигнал представляється сумою модулювального та полігармонійного несного коливань і білого шуму з використанням уточненої квазідетермінованої моделі індивідуальності голосу; що дозволяє визначати рівень шуму в сегментах мовного сигналу.

- запропоновано метод обчислення відстані між еталонним і емпіричним мовними сигналами, відмінністю якого є те, що для визначення довірчих інтервалів варіювання значень характеристичних параметрів враховується оцінка відношення сигнал/шум в мовному сигналі, що дозволяє визначити поріг достовірної верифікації суб'єкта за голосом.

- запропоновано інформаційну технологію для оптимізації цільової інформаційної системи критичного застосування за обраним атрибутом гарантоздатності, яка, на відміну від інших, описується в системі марковських,

напівмарковських і керованих напівмарковських моделей конфіденційності, цілісності, готовності, функційної безпечності, живучості та безвідмовності.

- Це дозволяє відшукати оптимальний варіант ІСКЗ шляхом вирішення відповідної задачі математичного програмування.

- запропоновано моделі формалізації відношень «рівень конфіденційності – цілісність» та «рівень конфіденційності – готовність» для цільової ІСКЗ, в яких, на відміну від інших, для конкуруючих атрибутів гарантоздатності заданих напівмарковськими моделями, здійснено постановку однокритеріальних задач оптимізації, що дозволяє визначити оптимальні параметри досліджуваної системи.

*удосконалено:*

- модель процесу автентифікації суб'єкта машиною опорних супер- та і-векторів за параметризованим представленням мовного сигналу з шумом, в якій, на відміну від існуючих застосовується мультиваріантний метод компенсування шумів, що дозволило підвищити конфіденційність процесу автентифікації, готовність цільової інформаційної системи і оптимізувати процес навчання імовірнісного класифікатора.

- метод адаптації згорткової нейромережі для автентифікації суб'єкта за мовним сигналом з шумом, в якому, на відміну від існуючих, вхідна спектrogramа параметризується з'єднаним з першим, згортковим, шаром нейромережі банком фільтрів Габора, що дозволяє підвищити ефективність застосування згорткової нейромережі для задачі автентифікації суб'єкта за голосом.

#### **Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Теоретичні дослідження дисертації автор проводить із застосуванням загальновизнаних методів, які ґрунтуються на комплексному використанні теорії математичного моделювання, методах теорії імовірності і математичної статистики, методах теорії випадкових процесів, методах математичного аналізу, методах теорії розпізнавання образів, методах теорії фонакції, методах цифрової обробки сигналів, методах теорії надійності, методах теорії інформаційної безпеки, методах математичного програмування, методах теорії прийняття рішень, методах машинного навчання, методах планування експерименту тощо.

Побудовані математичні моделі і розроблені методи є достовірними. Дослідження в рамках дисертаційної роботи базуються на застосуванні інформаційних технологій, а також використовують знання і стандарти, що відносяться до прикладної області.

Матеріали дисертаційної роботи обговорювалися на численних міжнародних наукових конференціях і семінарах. Позитивні результати апробацій і акти впровадження підтверджують достовірність теоретичних положень. Дисертаційна робота містить висунуті автором науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, наукові положення, які

характеризується єдністю змісту і свідчать про значний особистий внесок здобувача.

**Практична цінність результатів дисертації** полягає у тім, що наукові результати, які отримані в дисертації, у вигляді концепції двофакторної автентифікації суб'єкта-користувача із верифікацією за індивідуальними особливостями його голосу в якості другого фактору, дозволяють суттєво підвищити атрибути гарантоздатності інформаційних систем критичного застосування та вирішувати задачі оптимізації одних атрибутів гарантоздатності при обмеженнях на інші.

Розроблені автором методики прийняття рішень в задачі класифікації суб'єкта за параметризованим мовленнєвим сигналом з шумом із застосуванням імовірнісних класифікаторів, штучних нейронереж, методу найкращих оцінок тощо, методики регуляризації глибоких нейронереж і бустінгу процесу їх навчання з орієнтацією на задачі автентифікації суб'єкта за голосом, методики формування політики безпеки програмної складової інформаційної системи критичного застосування, методики і алгоритми для оптимізації обраного атрибуту гарантоздатності цільової ICK3, впроваджені у: Innovative Institute for Material Studies of Intel Research Practice (USA); відділі розпізнавання та синтезу звукових образів Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України (м. Київ); ARS Online OÜ (a part of the Advertising Agencies Industry, Estonia); Polski Dom Nowych Mediów (Poland); департаменті інформаційних технологій Вінницької міської ради (м. Вінниця); КНП ДОЗ Він. МР «Центр первинної медико-санітарної допомоги №3» (м. Вінниця); ДОЗК Він. ОДА МОЗ України «Вінницький обласний центр медико-соціальної експертизи» (м. Вінниця та інших, всього в 10 підприємствах та організаціях та забезпечують підвищення атрибутів гарантоздатності інформаційних систем цих установ та підприємств, діяльність яких пов'язана з управлінням критично важливою інформацією.

### **Повнота відображення в публікаціях**

Основні наукові положення, результати, висновки дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Проведений аналіз наукових праць здобувача показав, що основні результати дисертаційної роботи повно відображені в публікаціях автора у фахових виданнях.

За результатами виконаних теоретичних і експериментальних досліджень опубліковано 32 наукові роботи – зокрема, 1 монографія та 31 стаття, з яких: 11 статей у виданнях, проіндексованих у міжнародних наукометрических базах даних, у т.ч. 8 статей у наукометричній базі Scopus та 3 статті у наукометричній базі Web of Science. 25 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку, затвердженого МОНУ.

### **Структура та обсяг дисертації**

Дисертація складається, зокрема, з вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та одинадцяти додатків. Загальний обсяг роботи становить 566 сторінок, із них обсяг основного тексту – 386 сторінок, 82

рисунки, 6 таблиць, список використаних джерел включає 352 найменування та займає 29 сторінок, 10 додатків займають 180 сторінок.

### **Оцінка змісту дисертації**

У вступі обґрутовано актуальність обраної теми дисертації, сформульовано мету, основні задачі досліджень і наукову новизну отриманих результатів. Розглянуто практичне значення, реалізацію й впровадження результатів дисертації. Визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами організацій, де виконувалася робота, також особистий внесок автора в роботах, які виконані в співавторстві. Наведено відомості про публікації і апробацію роботи.

В першому розділі наведені результати аналізу теоретичної забезпеченості процесу оцінювання гарантоздатності інформаційної системи критичного застосування із автентифікацією суб'єкта за голосом як комплексного явища. Здійснено огляд теоретичних розробок з оцінювання гарантоздатності інформаційних систем. Представлено описову таксономію та проаналізовано структуру інформаційної системи критичного застосування як підкласу інформаційних систем, призначених для забезпечення інформаційної підтримки критичних систем. Проведено огляд технологій підвищення конфіденційності інформаційних систем методами біометричної автентифікації, зокрема за голосом. В результаті проведеного аналізу вибрано напряму і мету та здійснено постановку завдань дослідження.

У другому розділі пропонуються моделі індивідуальності голосу в мовленнєвому сигналі для розв'язання задачі автентифікації суб'єкта за голосом. Формалізовано базову й уточнену квазідетерміновані моделі індивідуальності голосу в мовленнєвому сигналі. Пропонуються стохастичні інтерпретації створених квазідетермінованих моделей. Описуються ефективні методи представлення характеристичних параметрів створених моделей індивідуальності голосу у часовому і частотному вимірах у контексті вирішуваної задачі. Формалізується бікомпонентна модель класифікації фрагментів мовленнєвих сигналів відповідно до їх інформативності для автентифікації суб'єкта за голосом.

В третьому розділі систематизується процес встановлення адекватності емпіричних мовленнєвих сигналів і їх опис математичними моделями, представленими у другому розділі, в контексті задачі автентифікації суб'єкта за голосом. Представлено методику верифікації математичних моделей індивідуальності голосу за значенням обраного критерію. Формалізовано процес оцінювання порогу прийняття рішень в задачі автентифікації суб'єкта за голосом відповідно до рівня відношення «сигнал»/«шум» у аналізованому мовленнєвому сигналі. Здійснено емпіричну верифікацію і аналіз отриманих теоретичних результатів моделювання індивідуальності голосу в мовленнєвому сигналі.

В четвертому розділі оцінюється вплив шумів акустичного оточення приймачів мовленнєвого сигналу на конфіденційність процесу автентифікації суб'єкта за голосом. Запропоновано моделі компенсування шумів у

мовленнєвих сигналах, які стали основою для синтезу імовірнісних моделей процесу автентифікації суб'єкта за мовленнєвим матеріалом із шумом, практичним наслідком яких стало удосконалення відповідних методів прийняття рішень. Враховуючи значну ресурсовитратність процесу класифікації як неодмінної складової процесу автентифікації суб'єкта за голосом, проведено дослідження з оптимізації методів прийняття рішень щодо особи суб'єкта, зокрема методами машинного навчання.

У п'ятому розділі відображені структурні і функціональні особливості інформаційної системи критичного застосування із автентифікацією суб'єкта за голосом. Показано, що адекватні моделі гарантоздатності можна вважати інтегральною характеристикою, яка забезпечує формальну оцінку конфіденційності, готовності, цілісності, безвідмовності, готовності, обслуговуваності, інтенсивності відмов і напрацювань на відмову інформаційних систем критичного застосування. В отриманих моделях атрибутів гарантоздатності враховано архітектурні особливості інформаційного середовища цільової системи, важливість її інформаційних ресурсів, специфіку процесу автентифікації та формування системної політики безпеки тощо. Зважаючи на конкуруючу сутність атрибутів конфіденційність-готовність та цілісність-готовність, представлено відповідні моделі взаємозалежності цих інтегральних складових гарантоздатності із утворенням відповідних критеріїв.

У шостому розділі представлено аналітичні методи обчислення характеристичних параметрів моделей індивідуальності голосу для досліджуваних екземплярів мовленнєвих сигналів. Отримано адаптації цих методів залежно від того, відомі значення усталених параметрів моделей індивідуальності голосу для досліджуваного екземпляру мовленнєвого сигналу, чи ні. Формалізовано інформаційну технологію автентифікації суб'єкта за індивідуальністю голосу та узагальнений метод і інформаційну технологію для оптимізації обраного атрибуту гарантоздатності цільової інформаційної системи критичного застосування.

Дисертаційна робота написана технічно грамотною мовою, автор логічно викладає основні положення, із дотриманням наукового стилю і вимог до оформлення. Зміст дисертаційної роботи відповідає прийнятим вимогам та правилам проведення та оформлення результатів наукових досліджень. Сформульовані у дисертаційній роботі завдання дослідження розв'язані, внаслідок чого отримані нові наукові та практичні результати. Усі одержані наукові результати висвітлені в тексті дисертації. Автореферат в достатньо повній мірі відображає основний зміст дисертації. Застосована у дисертаційній роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

### **Зauważення по дисертaciї**

1. У вступі (пункт «Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами») бажано було б вказати держбюджетні теми, де використовувались результати представлених в дисертації досліджень.

2. Автору треба було більш детальніше висвітити переваги запропонованого комплексного підходу до оптимізації інформаційних систем і технологій критичного застосування в порівнянні з існуючими.

3. У розділі 1 варто було провести більш повну та чітку класифікацію існуючих індикаторів атрибутів гарантоздатності.

4. У дисертації не надано відомостей про обмеження, що накладаються на потужність множини значень характеристичних параметрів, які подаються на входи інформаційної технології для підвищення обраного атрибуту гарантоздатності інформаційної системи критичного застосування.

5. Квазідетерміновані і стохастичні моделі індивідуальності голосу, що викладені у розділі 2, без підтвердження простими прикладами сприймаються важко.

6. У шостому розділі для наведених прикладів потрібно було привести більш розгорнуті чисельні параметри реалізованих систем, наприклад, технічні, часові та фінансово-економічні оцінки результатів.

7. Багато визначень та речень в дисертації дуже багатослівні, вони не завжди конкретні, що утруднює розуміння їх змісту.

8. Невірне твердження, що надійність характеризується живучістю, надійність – це безвідмовність, а живучість – це здатність системи зберігати свої функції в умовах дії перешкод та відмов її елементів.

9. В дисертації відсутнє визначення, що таке інформаційна система критичного застосування.

10. В дисертації розглянуто застосування згорткових нейромереж для задач автентифікації суб'єкта за індивідуальністю голосу. Але, на жаль, не розглянуто задачу структурного синтезу нейромережі глибокого навчання з оптимізацією числа шарів та кількості нейронів в кожному шарі. Не застосовується алгоритм вибору оптимальної структури нейромереж, щоб зменшити кількість варіюваних параметрів (ваг) та спросити процес її навчання.

11. Стр. 234 – задача оптимізації надлишкової СПБ – математична модель (5.17), (5.18) – це задача булевого програмування і, оскільки вона має лише 1 обмеження в формі суми, то її можна точно вирішувати методом динамічного програмування або методом ПАВ. Але автор не використав цю можливість.

12. Практична цінність наукових результатів дисертації не розкрита по суті. Замість цього автор обмежився переліком розроблених методів, методик, та практичних впроваджень.

13. Обсяг дисертації перевищує прийняті стандарти: основна частина (без переліка літератури) займає 362 стор., а загальний обсяг роботи – 535 стор. Це значно ускладнює роботу опонентів.

14. Мають місце деякі описки в формулах. Наприклад на стор.266 в формулі є зайве  $i$  під знаком  $\Sigma$ . Таке ж зауваження стосується формули для  $o(s,\alpha)$  на стор. 271.

15. Присутні редактивні та стилістичні недоліки. Наприклад, «мовленнєвий сигнал». А чому не «мовний»? «Модулювальний» – чому не модульований? Невдалий термін «індивідуальність голосу в мовленнєвому

сигналі» (ІГМС). На наш погляд краще «голосова модель індивіда». Ці приклади можна продовжити.

Визначені недоліки та зауваження не знижують цінності одержаних автором наукових та прикладних результатів дисертаційної роботи.

### Узагальнена оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота «Інформаційні технології для підвищення гарантоздатності інформаційних систем критичного застосування із автентифікацією суб'єкта за голосом» є цілісним, завершеним науковим дослідженням, спрямованим на вирішення важливої наукової проблеми підвищення гарантоздатності інформаційної системи критичного застосування із автентифікацією суб'єкта за голосом.

Дисертація відповідає формулі та напрямкам досліджень, вказаних у паспорті спеціальності 05.13.06 - інформаційні технології, в частині напрямків дослідження п.1: «Розроблення наукових і методологічних основ створення і застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації», п. 2: «Розроблення інформаційних технологій для аналізу та синтезу структурних, інформаційних і функціональних моделей об'єктів і процесів, що автоматизуються», п. 4: «Дослідження та побудова інформаційних технологій для розроблення і впровадження баз і сховищ даних баз і систем комп’ютерної підтримки рішень в автоматизованих системах і мережах», п. 11: «Розроблення інформаційно-пошукових і експертних систем обробки інформації для прийняття рішень, а також знання орієнтованих систем підтримки рішень в умовах ризику та невизначеності як інтелектуальних інформаційних технологій».

Вважаю, що за актуальністю обраної теми, достовірністю і обґрунтованістю висновків, новизною досліджень, значимістю отриманих результатів для науки і практики дисертаційна робота повністю відповідає п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», що затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., щодо докторських дисертацій, а здобувач, Ковтун В'ячеслав Васильович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології.

Офіційний опонент,  
професор кафедри математичних  
методів системного аналізу  
Національного технічного  
університету України «Київський  
політехнічний інститут імені  
Ігоря Сікорського», доктор технічних наук, професор



Ю. П. Зайченко