
Вченому секретареві С.М. Захарченку

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., професора Харченка Вячеслава Сергійовича 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

1. Актуальність теми дисертації

1.1. Потреба в високонадійних та безпечних інформаційних, інформаційно-керуючих та інформаційно-управляючих систем (ІУС) у всіх галузях людської діяльності зростає. Це стосується ІУС для управління і контролю процесів в атомних, теплових і гідроелектростанціях, в критичних енергоінфраструктурах (енергогрід), систем централізації і блокіровок для управління залізничним. В промисловості ІУС інтенсивно використовують для управління і контролю небезпечними об'єктами, їх екологічного (перед і післяаварійного) моніторингу. Важливими аспекти гарантоздатності, яка об'єднує властивості надійності, функційної та кібербезпеки, є для ІУС військового і спеціального призначення. Природно, що еволюція критичних ІУС супроводжується зростанням вимог до рівня надійності та безпеки, що обумовлено тим, що їх недостатній рівень може потенційно спричинити матеріальні втрати, зниження конкурентоспроможності і призвести до серйозних наслідків.

1.2. Актуальність досліджень визначається тим, що засоби розроблення сучасних ІУС стоять на порозі появи «конструкторів» профільних систем, утворених з елементів наборів типових компонент від різних виробників. Для реалізації таких «конструкторів» істотним фактором є математично обґрунтована підтримка методів вибору і прийняття рішень щодо формування наборів апаратно-програмних компонент створюваних ІУС для досягнення заданого рівня надійності та безпеки управління цільовими процесами. На етапі проектування параметри ІУС задаються наближено, зазвичай, граничними інтервалами. За таких умов природним є неоднозначність при визначенні оптимального варіанту структури створюваної системи. Також необхідно відзначити, що середовище функціонування сучасних ІУС не дозволяє проектувати їх структуру з орієнтацією лише на один обраний якісний характеристичний параметр, будь то надійність, безпека, живучість та ін. Таким об'єднуючим атрибутом і відповідною метрикою може слугувати гарантоздатність як комплексна характеристика, надійність у якій враховується такими складовими як безвідмовність, ремонтпридатність (обслуговуваність), а також включає живучість, функційну безпечність та інформаційну безпеку, представлену конфіденційністю, готовністю (доступністю) і цілісністю.

1.3. Отже, дослідження, спрямовані на нормування, оцінювання і забезпечення гарантоздатності розподілених ІУС, ключовою характеристичною ознакою яких є прогнозованість поведінки при експлуатації, є актуальними. Їх актуальність обумовлюється також з огляду на існування об'єктивного протиріччя, яке полягає в зростанні вимог до рівня конфіденційності, цілісності та готовності ІУС (перш за все, інформаційних та інформаційно-управляючих систем з чутливою операторською підтримкою) та неможливістю одночасного їх забезпечення з причини обмеження доступних обчислювальних ресурсів та існування у зловмисників напрацьованих технологій нейтралізації стандартних методів автентифікації суб'єктів-користувачів.

2. Мета і основні завдання дослідження

2.1. Метою дисертаційної роботи є підвищення гарантоздатності інформаційних систем критичного застосування (ІСКЗ) з автентифікацією суб'єкта за голосом шляхом розроблення і впровадження методів і засобів для їх оптимізації за обраним атрибутом.

2.2. Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовано і вирішено такі завдання:

- проаналізовано стан проблемно-орієнтованого моделювання інформаційних систем критичного застосування в рамках таксономічної схеми гарантоздатності та оцінено вплив застосування біометричних методів автентифікації суб'єктів-користувачів, зокрема, за голосом, на значення конфіденційності як атрибуту гарантоздатності;
- узагальнено методологічні положення цифрового оброблення сигналів, математичної статистики і теорії фонації в інформаційній технології автентифікації суб'єкта за індивідуальністю голосу;
- аналітично описано міру розрізнення між еталонним і емпіричним образами в параметричному просторі індивідуальності голосів;
- формалізовано процес компенсації шумів у фонограми мовленнєвого сигналу в контексті задачі автентифікації суб'єкта за голосом;
- формалізовано і оптимізовано модель процесу класифікації в задачі автентифікації суб'єкта за мовленнєвим матеріалом із шумом на основі застосування технологій машинного навчання;
- створено і розвинуто концепцію забезпечення конфіденційності сеансу суб'єкт-системної інформаційної взаємодії з двохфакторною авторизацією, зокрема, із верифікацією суб'єкта-користувача за голосом в якості другого фактору;
- розроблено методи оптимізації інформаційної системи критичного застосування за обраним атрибутом гарантоздатності із постановкою відповідних задач математичного програмування.

3. Основні результати та наукова новизна дисертаційних досліджень

3.1. Наукова новизна результатів дисертації полягає в тім, що автором *вперше*:

- запропоновано інформаційну технологію автентифікації суб'єкта за індивідуальністю голосу, відмінністю якої є те, що мовленнєвий сигнал представляється сумою модульовального і полігармонійного несного коливань в

системі квазідетермінованих або стохастичних моделей індивідуальності голосу, що дозволяє отримати компактний, інформативний і адекватний параметричний опис індивідуальності сегментів з визначеним рівнем вокалізації в просторі усередненої частота основного тону та амплітуди несних гармонік;

- запропоновано метод оцінювання рівня відношення сигнал/шум у емпіричному мовленнєвому сигналі, в якому, на відміну від інших, мовленнєвий сигнал представляється сумою модульовального та полігармонійного несного коливаль і білого шуму з використанням уточненої квазідетермінованої моделі індивідуальності голосу, що дозволяє визначати рівень шуму як у вокалізованих, так і у невокалізованих сегментах мовленнєвого сигналу;

- запропоновано метод обчислення відстані між еталонним і емпіричним мовленнєвими сигналами, що параметризовані в системі моделей індивідуальності голосу, відмінністю якого є те, що для визначення довірчих інтервалів варіювання значень характеристичних параметрів враховується оцінка відношення сигнал/шум в емпіричному мовленнєвому сигналі, що дозволяє визначити поріг достовірної для верифікації суб'єкта за голосом;

- запропоновано метод 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 для різних атрибутів, що дозволяє віднайти оптимальний варіант ІСКЗ шляхом вирішення відповідної задачі математичного програмування;

- запропоновано методи 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 мовленнєвого сигналу з шумом, в якій, на відміну від існуючих, до представлених моделлю сумішей гаусівських розподілів характеристичних параметрів емпіричного мовленнєвого сигналу 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 мовленнєвим сигналом з шумом, в якому, на відміну від існуючих, вхідна спектрограма параметризується з'єднанням з першим, згортковим, шаром нейромережі банком фільтрів Габора, синтезованим у формалізмі теорії спектрально-темпоральних рецептивних полів, що дозволяє орієнтувати процес інтерпретації вхідної спектрограми нейромережею на вирішення задачі автентифікації суб'єкта за голосом та, за рахунок введення bottleneck-шару,

отримати новий набір характеристичних параметрів для опису індивідуальності мовленнєвого сигналу з шумом.

3.2. Наукову новизну збережено у редакції автора. Зміни стосуються, зокрема, набору атрибутів гарантоздатності, оскільки не зовсім зрозумілим є включення живучості і функційної безпечності для класу систем, що розглядається. Одержані автором наукові результати є внеском в теорію і методи аналізу та забезпечення гарантоздатності інформаційних систем із автентифікацією суб'єкта за голосом.

4. Оцінка змісту дисертації

4.1. Дисертаційна робота включає, зокрема, з вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел та одинадцять 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, одинадцять додатків займають 180 сторінок.

4.2. У *вступі* автором детально обґрунтовано 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* наведено 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* відображено 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.

4.3. Дисертацію написано 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 наукова

термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

5. Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

5.1. Всі теоретичні положення дисертаційної роботи достатньо обґрунтовані. Теоретичні результати, представлені в дисертації, автор отримав із застосуванням загальноновизнаних методів, заснованих на комплексному використанні теорії математичного моделювання, аналітичних і обчислювальних методах теорії імовірності і математичної статистики, методах теорії випадкових процесів, методах математичного аналізу, методах теорії розпізнавання образів, методах теорії фонації, 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.

5.2. Достовірність результатів досліджень забезпечується коректністю та строгістю постановки завдань, коректністю використання математичного апарату під час доведення основних наукових положень. Достовірність наукових результатів підтверджується збігом даних, які отримано за допомогою запропонованих методів та моделей, з експериментальними даними, а також результатами практичного впровадження.

6. Практичне значення наукових результатів і положень

6.1. Практична цінність наукових положень дисертації полягає у тім, що наукові результати представлено у прикладному вигляді, зокрема:

- концепції двофакторної автентифікації суб'єкта-користувача із верифікацією за індивідуальними особливостями його голосу в якості другого фактору;
- методик і алгоритмів для параметризації мовленнєвих сигналів, зокрема, з шумом, у формалізмі моделей індивідуальності голосу;
- методик прийняття рішень в задачі класифікації суб'єкта за параметризованим мовленнєвим сигналом з шумом із застосуванням імовірнісних класифікаторів, штучних нейромереж, методу найкращих оцінок тощо, а також регуляризації глибоких нейромереж і бустінгу процесу їх навчання з орієнтацією на застосування в задачі автентифікації суб'єкта за голосом;
- методик формування політики безпеки програмної складової інформаційної системи критичного застосування; методики і алгоритму для оптимізації обраного атрибуту гарантоздатності цільової ІСКЗ, а також оптимізації залежності конфіденційності процесу автентифікації і готовності інформаційній системі критичного застосування.

6.2. Результати впроваджено на підприємствах у різних сферах: Innovative Institute for Material Studies of Intel Research Practice (USA, військова сфера), ARS Online OÜ (a part of the Advertising Agencies Industry, Estonia, фінансова сфера), Відділі розпізнавання та синтезу звукових образів Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН

України та МОН України (м. Київ), Хмельницькому міському комунальному підприємстві «Хмельницький інфоцентр», Львівському комунальному підприємстві «Міський центр інформаційних технологій», Департамент інформаційних технологій ВінМР (Ситуаційний центр, м. Вінниця), КП «Вінницький інформаційний центр» (м. Вінниця, урядова сфера), ДОЗК Він. ОДА МОЗ України «Вінницький обласний центр медико-соціальної експертизи», КНП ДОЗ Він. МР «Центр первинної медико-санітарної допомоги №3» (м. Вінниця), ТОВ «Агро-помсервіс» (м. Вінниця), ТОВ «Вінниця електроконтакт» (м. Немирів). У відповідних актах впровадження відзначено, що отримані автором результати дозволяють забезпечити підвищення атрибутів гарантоздатності інформаційних систем цих установ та підприємств, діяльність яких пов'язана з управлінням критично важливою інформацією.

7. Повнота публікацій

7.1. 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 наукометричних базах, зокрема, 8 статей у Scopus та 3 статті у Web of Science; 25 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку, затвердженого МОНУ. У вступі до дисертаційної роботи автор чітко сформулював особистий внесок в статтях, опублікованих із співавторами.

7.2. Матеріали дисертації обговорювалися на численних міжнародних наукових конференціях і семінарах. Позитивні результати апробацій і акти впровадження додатково підтверджують достовірність теоретичних положень. Дисертація містить висунуті автором науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, наукові положення, які характеризуються єдністю змісту і підтверджують значний особистий внесок здобувача.

8. Зауваження по дисертації

8.1. На початку розділу 2 було б доцільно навести критичний аналіз існуючих підходів до опису природи індивідуальності голосу, що стали базою для розробки відповідних математичних моделей. Це було б важливо зробити в контексті класу гарантоздатних систем, які досліджувалися автором.

8.2. З огляду на сутність наукових результатів, що виносяться на захист, в дисертації не вистачає формальної постановки задачі, яка б: по-перше, визначила головні формальні ознаки понять «індивідуальність голосу» та «гарантоздатність інформаційної системи критичного застосування»; по-друге, об'єднала запропоновані математичні моделі і методи в єдину інформаційну технологію за цими ключовими поняттями.

8.3. У розділі 5 не надано достатнього обґрунтування вибору типу марковських мереж для моделювання конфіденційності, цілісності, готовності, функційної безпечності, живучості та безвідмовності досліджуваного класу систем. Крім того, не зрозуміло, яким чином атрибути гарантоздатності, перед усім, функційної безпечності, живучості, можуть визначатися для досліджуваного класу систем, зокрема, з урахуванням багатоступеневої деградації та критичних з точки зору функційної безпечності відмов.

8.4. У підрозділі 6.5 розрахунок оцінки ефективності запропонованої технології для підвищення обраного атрибуту гарантоздатності інформаційної системи критичного застосування потребує більш детального опису умов та особливостей проведеного експерименту. Інакше не зрозуміло, наскільки широким є клас об'єктів, для яких запропонована інформаційна технологія придатна та ефективна.

8.5. При описі практичної реалізації відсутнє порівняння запропонованої інформаційної технології для підвищення гарантоздатності інформаційної системи критичного застосування із автентифікацією суб'єкта за голосом з діючими аналогами, які застосовуються у реальних критичних системах. В дисертації не наводиться інформація щодо специфіки прикладної реалізації людино-машинних інтерфейсів створених інформаційних технологій на програмному рівні.

9. Висновки і узагальнена оцінка дисертаційної роботи

9.1. Визначені недоліки і зауваження не впливають на позитивний висновок і не знижують цінність одержаних автором наукових та прикладних результатів дисертаційної роботи.

9.2. 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. Вміст дисертаційної роботи відповідає формулі і напрямкам досліджень, викладеним у паспорті спеціальності 05.13.06 - інформаційні технології.

9.3. Вважаємо, що за актуальністю теми, достовірністю і обґрунтованістю висновків, новизною досліджень, значимістю отриманих результатів для науки і практики дисертація 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 на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології.

Офіційний опонент,

лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки
заслужений винахідник України доктор технічних наук, професор
завідувач комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки

Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В. С. Харченко

23 березня 2021 р.

Підпис професора Харченка В'ячеслава Сергійовича засвідчую.

Вчений секретар Вченої ради Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

кандидат філософських наук, доцент

С.Є. Чмихун

