

УДК 004.94+519.2

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ ДО ВИКОНАННЯ КРИТИЧНИХ ЗАВДАНЬ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО ПІДПISY

Луцків А.М., Моліцький В.В.

### ON-LINE SIGNATURE AUTOMATED TESTING SYSTEM FOR PSYCHOLOGICAL READINESS TO PERFORM CRITICAL TASKS

Lutskiv A.M., Molitskyi V.V.

*У статті розглянуто методи та засоби організації автоматизованої комп'ютерної системи аутентифікації оператора за динамічним підписом зорієнтовані на тестування психологічної готовності до виконання критичних задач. Наведено математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення, яке лежить в основі роботи такої системи. Для задачі аутентифікації та діагностики поєднано використання стохастичного підходу та апарату штучних нейронних мереж. Запропоновано діагностичні критерії визначення задовільного психоемоційного стану оператора.*

**Ключові слова:** біометрична аутентифікація, готовність до виконання критичних завдань, динамічний підпис

**Вступ.** Професійна діяльність, яка пов'язана з моніторингом та керуванням критично-важливими системами, до яких належать енергетичні установки, атомні електростанції, небезпечні хімічні виробництва, система авіаперевезень, залізничний транспорт та багато інших, висувають цілу низку вимог до операторів цих систем. Зокрема, до готовності відповідних операторів виконувати свої обов'язки. Під готовністю оператора [1] розуміємо інтегративне особистісне утворення, компонентами якого є тривала і короткочасна готовність, яке забезпечує психологічну придатність до покладеної на нього діяльності. У контексті даної роботи мова йде про систему автоматизованого оцінювання короткочасної готовності. Короткочасна готовність характеризує наявну на даний період часу (від робочого дня/зміни до кількох днів/змін, залежно від умов) психологічну здатність до виконання покладених на нього завдань. Можливі випадки відсутності в оператора короткочасної (ситуативної) психологічної готовності (внаслідок захворювання, травми та ін.) при наявності тривалої готовності. Запропонована система дає змогу автоматизовано оцінювати один із показників короткочасної психологічної готовності — операційну готовність (актуальну можливість до реалізації наявних вмінь і

навичок, необхідних для вирішення професійних завдань).

**Постановка проблеми.** Для допуску операторів до керування критично важливими системами використовуються різні системи аутентифікації, як правило це багатофакторна аутентифікація. Водночас важливим є визначення психофізичного стану оператора з метою визначення можливості ним виконувати свої службові обов'язки. А саме, чи не перебуває оператор у стані збудження під впливом надмірного стресу чи в зміненому стані свідомості, під дією наркотичних речовин чи алкоголю. Таким чином автоматизовані робочі місця таких співробітників доцільно дообладнувати засобами автоматизованого психологічного тестування. Очевидно, що таке оцінювання готовності на етапі аутентифікації користувача відповідало б критеріям зручності та ефективності. Методи динамічної біометричної аутентифікації базуються на використанні параметрів динаміки підсвідомих рухів людини. У даній роботі авторами пропонується використання динамічного підпису, як одного з видів динамічної біометричної аутентифікації, для задачі діагностики психологічної готовності оператора до виконання відповідальних задач.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінюванню психофізіологічного стану та готовності оператора критичної системи виконувати покладені на нього обов'язки присвячена ціла низка досліджень [1-6], зокрема, в сфері авіації [2], оборони та медицини. Основна увага в працях присвячена експертному оцінюванню психофізіологічного стану людини [1], а також методології зменшення впливу людського фактору на діяльність систем керування критичними системами [2]. У більшості випадків автоматизується процес тестування [3], водночас, оцінювання здійснюється експертним шляхом.

Очевидно, що актуальною є задача створення автоматизованої системи психофізіологічної діагностики на етапі аутентифікації. По суті така система виконуватиме дві функції: аутентифікації та діагностики. Система діагностики психофізіологічних особливостей людини на основі динамічного підпису [5-7] є природною і соціально-прийнятною, а апаратні засоби є доступними за ціною. Експертне оцінювання графологічних даних людини широко використовується для тестування психоемоційного стану [4].

Поширення пристроїв з рукописним вводом суттєво збільшує потенційну аудиторію користувачів систем аутентифікації на основі динамічного підпису, а відповідно й засобів визначення психоемоційної готовності. Наприклад, перед початком руху автомобіля водій вводить динамічний підпис і система аутентифікує водія й визначає його готовність керувати автомобілем. Така система може використовуватись й окремо, виключно, як діагностична.

**Мета статті.** Метою роботи є обґрунтування вибору методів та засобів, які лежать в основі системи діагностики психофізіологічної готовності оператора до виконання критичних задач. Система діагностики психофізіологічної готовності базується на системі аутентифікації оператора системи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При аутентифікації особи на основі підпису розрізняють статичний підпис (off-line) і динамічний (on-line), на основі якого проводиться динамічна біометрична аутентифікація особи. Динамічний підпис отримується за допомогою пристрою введення (пристрою-вказівника) – графічного планшета, або за допомогою інших засобів введення інформації й може бути поданий як параметрична крива з координатами по осях  $x$ ,  $y$  і  $t$  у тривимірному просторі, або  $x$ ,  $y$ ,  $p$  і  $t$ , якщо враховується ще й сила натиску. Тобто, динамічний підпис, що отриманий за допомогою планшета – це деяка параметрична крива, яка описує зміну в часі точки з координатами  $(x(t), y(t), t) \in \square$  на площині планшета (рис.1).

У процесі відтворення підпису людина може розпочинати відтворення підпису в різних точках планшета й відтворювати підпис із різним розмахом. Для усунення впливу цих випадкових факторів, здійснюється його попереднє опрацювання (нормування) [5]. У роботі [5] опрацювання підпису та аутентифікація здійснюється у рамках стохастичної моделі: моделлю нормованого динамічного підпису виступають випадкові процеси  $\xi_0(\omega, t)$  і  $\eta_0(\omega, t)$ , які описують траєкторії руху пера вздовж осей  $x$  та  $y$ , а для отримання нормованого підпису необхідно провести наступні операції над ненормованим підписом  $\xi(\omega, t)$  і  $\eta(\omega, t)$ :

$$\xi_0(\omega, t) = \frac{\xi\left(\omega, \frac{1}{\alpha_\xi(\omega)} \cdot t\right) - B_\xi(\omega)}{A_\xi(\omega)}, \quad (1)$$

$$\eta_0(\omega, t) = \frac{\eta\left(\omega, \frac{1}{\alpha_\eta(\omega)} \cdot t\right) - B_\eta(\omega)}{A_\eta(\omega)}, \quad (2)$$

де  $A_\xi(\omega)$  і  $A_\eta(\omega)$  – випадкові величини, які враховують варіацію підпису (розмах);

$\xi_0(\omega, t)$  і  $\eta_0(\omega, t)$  – випадкові процеси, що відповідають компонентам нормованого підпису (рис.2);

$\alpha_\xi(\omega)$  і  $\alpha_\eta(\omega)$  – випадкові величини, що відображають мінливість тривалості написання динамічного підпису;

$B_\xi(\omega)$  і  $B_\eta(\omega)$  – випадкові величини, які враховують початкову точку відтворення динамічного підпису і дорівнюють координатам  $(x, y)$  на площині в початковий момент часу.

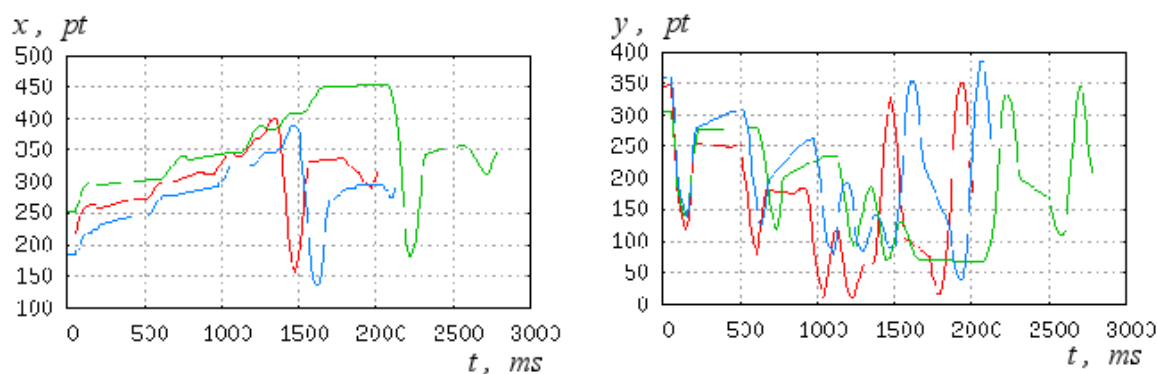


Рис. 1. Графіки трьох реалізацій компонент  $x(t)$  (зліва) та  $y(t)$  (справа) динамічного підпису

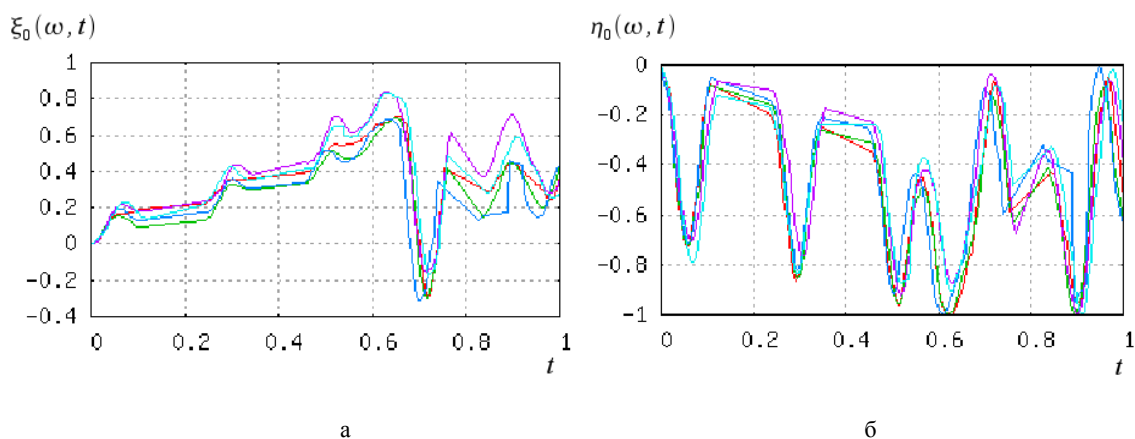


Рис. 2. Реалізації процесу  $\xi_0(\omega, t)$  (а) і  $\eta_0(\omega, t)$  (б) першої і другої компоненти нормованого підпису особи, після попередньої обробки

Можливим є урахування зміни сили натиску й кута нахилу пера відносно площини планшету в часі. Ці параметри можуть бути подані у вигляді випадкових процесів, аналогічно до наведених вище. У даному випадку, аутентифікаційні ознаки особи базуються на статистичних характеристиках динамічного підпису - еталонним підписом виступає математичне сподівання, а коридор допуску визначається на основі середньоквадратичного відхилення. Оскільки набір реалізацій динамічних підписів підпорядковується нормальному закону розподілу [5], то критерієм допуску особи в систему буде належність введеного під час аутентифікації підпису законного власника «коридору», відносно еталонного підпису (рис.3).

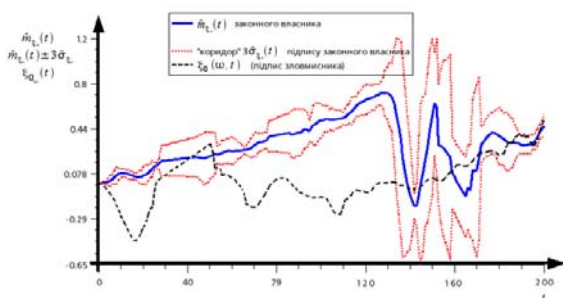


Рис. 3. Нормований підпис у «коридорі»  $m \pm 3\sigma$  і підпис зловмисника (процеси  $\xi_0(\omega, t)$ )

Таким чином, шляхом використання статистичних характеристик динамічного підпису в якості аутентифікаційних ознак аутентифікується оператор. Водночас, параметри, які враховують мінливість тривалості написання динамічного підпису, розмах та початкову точку відтворення  $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega)\}$  й не є репрезентативними для аутентифікації, не використовуються. Очевидно, що вони

відображають психоемоційний стан й на основі їх аналізу можна здійснювати психоемоційну діагностику.

Авторами дослідження пропонується поєднувати використання стохастичних моделей [5] для аутентифікації та апарату штучних нейронних мереж для діагностики психоемоційного стану. Це дасть змогу зменшити розмір початкової вибірки й відносно просто коригувати параметри системи діагностики в процесі її роботи. Водночас, в процесі роботи така система буде самонавчатись на основі виконання кожної наступної аутентифікації.

Штучні нейронні мережі є моделлю нейронної структури людського мозку, який, навчається на основі досвіду. Системи побудовані на основі штучних нейронних мереж широко використовуються у сфері розпізнавання образів, для побудови моделей різних нелінійних і важко описуваних в рамках класичного математичного апарату систем, а також для прогнозування розвитку цих систем у часі.

На рисунку 4 показано узагальнену схему роботи системи в режимах реєстрації (а) та аутентифікації (б). Розглянемо дані схеми детальніше.

На етапі реєстрації користувача (рис. 4а) відбувається навчання штучної нейронної мережі. Для цього на її вхід подаються коректні та хибні підписи. Коректними є такі, які дають змогу правильно аутентифікувати користувача й вказують на його працездатний психоемоційний стан. Некоректними є підписи зловмисника, або такі, які не відповідають працездатному психоемоційному стану.

Емпірично встановлено, що мінімально необхідна кількість підписів на етапі реєстрації користувача для навчання штучної нейронної мережі становить 10 одиниць. Система проводить нормування цих підписів (1) та оцінювання статистичних характеристик (2) нормованого підпи-

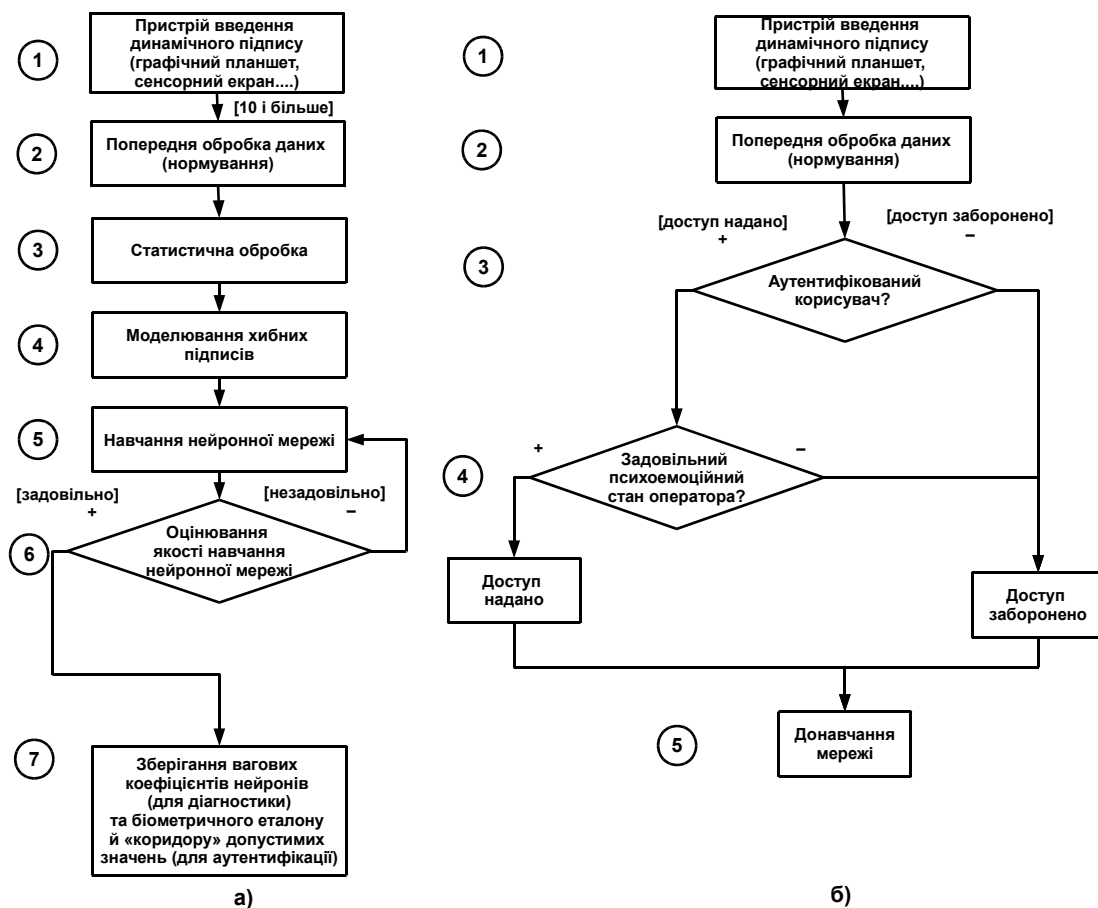


Рис. 4. Загальна схема роботи системи аутентифікації та діагностики  
 а – реєстрація користувача; б – аутентифікація користувача

су (випадкових процесів  $\xi_0(\omega, t)$  і  $\eta_0(\omega, t)$  та параметрів  $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega)\}$ . Статистичні характеристики випадкових процесів  $\xi_0(\omega, t)$  і  $\eta_0(\omega, t)$  використовуються для аутентифікації, а статистичні характеристики параметрів — для психоемоційної діагностики. Як було показано в [5], статистичні характеристики цих параметрів підпорядковані нормальному закону розподілу. На основі ймовірнісних характеристик динамічного підпису аутентифікованої особи система здійснює моделювання хибних підписів (4), тобто таких які відповідають незадовільному психоемоційному стану. Моделюються значення параметрів  $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega)\}$ , які виходять за межі діапазону.

Навчання штучної нейронної мережі (5) здійснюється за допомогою навчальної і тестової вибірок. За допомогою навчальної вибірки здійснюється навчання штучної нейронної мережі (формується коефіцієнти нейронів), а за допомогою тестової вибірки проводиться оцінювання якості навчання (6). На основі статистичних характеристик введених користувачем підписів формується база з 10000 хибних підписів. У процесі навчання на вхід нейронної мережі надходять згенеровані хибні

підписи, а також багаторазово вводяться ті, які введені користувачем. Черговість введення хибних підписів і задовільних є випадковою.

Важливим аспектом використання штучних нейронних мереж є вибір їх типу (рис.5). Для аналізу динамічного підпису можна використати як нейронні мережі прямого поширення (багатошаровий перцептрон), так і рекурентні нейронні мережі. У випадку використання нейронної мережі прямого поширення вхідними сигналами будуть значення параметрів  $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega)\}$ , а виходом буде значення, яке визначає задовільність психоемоційного стану особи й лежить у межах від 0 до 1. Перевищення порогового значення 0,7 вказує, що підпис вводиться у задовільному психоемоційному стані, а менше значення вказує на незадовільний психоемоційний стан.

На відміну від нейронних мереж прямого поширення у рекурентних нейронних мережах з'єднання між вузлами формують орієнтований граф і створюється такий внутрішній стан мережі, що дає їм змогу проявляти динамічну поведінку в часі. Відповідно така мережа може використовувати свою внутрішню пам'ять для обробки довільних послідовностей входів. Завдяки цьому даний клас штучних нейронних мереж використовують для

таких задач, як розпізнавання несеgmentованого безперервного рукописного тексту та розпізнавання мовлення. Однак, задача діагностики психоемоційного стану є відносно простою, а кількість вхідних параметрів є сталою, тому використання штучних нейронних мереж прямого поширення є виправданим у даному випадку.

На етапі аутентифікації (рис.46) підпис нормується (2), здійснюється аутентифікація (3), на основі параметрів  $\{A_{\xi}(\omega), A_{\eta}(\omega), B_{\xi}(\omega), B_{\eta}(\omega), \alpha(\omega)\}$ , які подаються на вхід штучної нейронної мережі, визначається (4) чи задовільний психоемоційний стан аутентифікованого оператора. Діагностичними ознаками динамічного підпису виступатимуть ваги нейронів мережі, які будуть постійно уточнюватися в процесі роботи системи. У процесі роботи системи аутентифікації відбувається донавчання (5), яке враховує нові особливості оператора.

Таким чином, аутентифікаційними ознаками при використанні нейромережі будуть виступати статистичні характеристики нормованого підпису, а для визначення психоемоційного стану будуть використовуватись значення функції активації на вихідному шарі нейромережі.

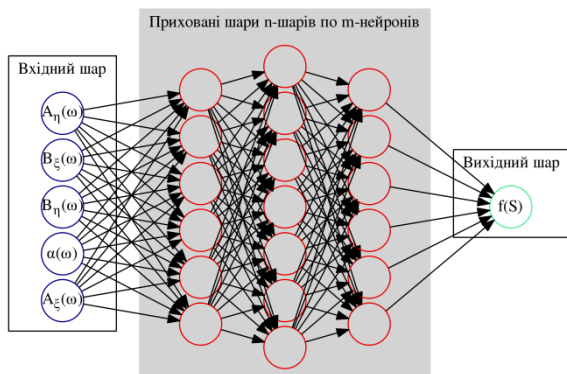


Рис. 5. Узагальнена схема роботи штучної нейронної мережі при аналізі одного підпису

Система аутентифікації та діагностики реалізована з використанням технології Java, тому для роботи з штучними нейронними мережами можна використати одну із сумісних бібліотек: TensorFlow [8] або MLib [9]. Ці бібліотеки надають змогу досить просто і швидко будувати нейронні мережі різної складності й надають API-функції для даної технології програмування Java. Ще однією апробованою бібліотекою є nVidia cuDNN [10], яка має додатковий програмний інтерфейс для роботи з Java - jcuDnn. Наведені програмні засоби відповідають критеріям доступності за ціною, надійністю та простотою їх використання, а також надають можливість масштабування в разі необхідності. Водночас, усі наведені бібліотеки мають внутрішні механізми для розпаралелювання

на високопродуктивних апаратних засобах. У ході дослідження використано бібліотеку TensorFlow.

Розвитком досліджень у даному напрямку є визначення ефективності використання LSTM-мереж для аналізу динамічного підпису. А також, разом з аналізом динамічного підпису, можна виконувати аналіз його статичного двовимірного зображення шляхом використання мереж прямого поширення, а саме згортоквих нейронних мереж.

**Висновок.** Запропоновано алгоритмічне та програмне забезпечення роботи системи аутентифікації людини з метою оцінювання психоемоційної готовності. Для задачі аутентифікації та діагностики поєднано використання стохастичного підходу та апарату штучних нейронних мереж. Обґрунтовано вибір архітектури штучної нейронної мережі. Запропоновано підходи до навчання штучної нейронної мережі шляхом моделювання динамічних підписів користувача на основі його ймовірнісних характеристик.

Запропоновано програмні бібліотеки для розв'язання поставленої задачі.

#### Література

1. Кокун О.М. Збірник методик для діагностики психологічної готовності військовослужбовців військової служби за контрактом до діяльності у складі миротворчих підрозділів: Методичний посібник. / Кокун О.М., Пішко І.О., Лозінська Н.С., Копаниця О.В., Малхазов О.Р. // - К.: НДЦ ГП ЗСУ, 2011. - 281 с.[Електронний ресурс] Режим доступу: URL: [http://lib.iitta.gov.ua/11049/1/Діагност\\_психол\\_готовнос\\_ти.pdf](http://lib.iitta.gov.ua/11049/1/Діагност_психол_готовнос_ти.pdf)
2. Gerardo De Maria. Human-Machine Interaction in Aviation: A Future Threat or Resource. American Journal of Science and Technology. Vol. 3, No. 1, 2016, pp.25-42.
3. Mark E. Maruish. The Use of Psychological Testing for Treatment Planning and Outcomes Assessment: Volume 1: General Considerations. - 3rd.ed. London, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 2004. - 528 p.
4. Rundquist E. The Assessment of Graphology / E. A. Rundquist // [Електронний документ] Режим доступу: URL: [https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/kent-csi/vol3no3/html/v03i3a04p\\_0001.htm](https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/kent-csi/vol3no3/html/v03i3a04p_0001.htm)
5. Луцків А.М. Математичне моделювання і обробка динамічно введеного підпису для задачі аутентифікації особи у інформаційних системах: Дис. ...кандидата техн.наук: 01.05.02; - Захищена 03.06.2008; Затв. 03.12.2008. - Тернопіль, 2008. - 276с.
6. Heinen M. R. Handwritten Signature Authentication using Artificial Neural Networks. IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings. 10.1109/IJCNN.2006.247206. / Heinen Milton Roberto, Osorio Fernando. // - 2006. - pp.5012 - 5019.
7. Kshitij S. Off-line Handwritten Signature Verification using Artificial Neural Network Classifier / Kshitij Sisodia, S. Mahesh Anand // International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 2. - ACADEMY PUBLISHER, ACEEE, 2009. - pp.205-207.

8. TensorFlow. An open-source software library for Machine Intelligence [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://www.tensorflow.org/>
9. MLlib | Apache Spark. *MLlib* is Spark's machine learning (ML) library. [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://spark.apache.org/docs/latest/ml-guide.html>
10. NVIDIA cuDNN. The NVIDIA CUDA Deep Neural Network library (*cuDNN*) [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://developer.nvidia.com/cudnn>

#### References

1. Kokun O.M. Zbirnyk metodyk dlja diagnostyky psykholohichnoji ghotovnosti vijsjkovosluzhbovciv vijsjkovoji sluzhby za kontraktom do dijalnosti u skladi myrotvorchykh pidrozdiliv: Metodychnyj posibnyk. / Kokun O.M., Pishko I.O., Lozinsjka N.S., Kopanycja O.V., Malkhazov O.R. // – К.: NDC GhP ZSU, 2011. – 281 p. [Electronic resource] Access mode: URL: [http://lib.iitta.gov.ua/11049/1/Diagnost\\_psykhol\\_ghotovnosti.pdf](http://lib.iitta.gov.ua/11049/1/Diagnost_psykhol_ghotovnosti.pdf)
2. Gerardo De Maria. Human-Machine Interaction in Aviation: A Future Threat or Resource. *American Journal of Science and Technology*. Vol. 3, No. 1, 2016, pp.25-42.
3. Mark E. Maruish. The Use of Psychological Testing for Treatment Planning and Outcomes Assessment: Volume 1: General Considerations. - 3rd.ed. London, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 2004. - 528 p.
4. Rundquist E. The Assessment of Graphology / E. A. Rundquist // [Electronic resource] Access mode: URL: [https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/kent-csi/vol3no3/html/v03i3a04p\\_0001.htm](https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/kent-csi/vol3no3/html/v03i3a04p_0001.htm)
5. Lutskiv A.M. Mathematical modeling and processing of the on-line signature for the purpose of the person authentication in the information systems: PhD thesis on candidate on technical sciences: 01.05.02; - Defended 03.06.2008; Approved 03.12.2008. - Ternopil, 2008. - 276p.
6. Heinen M. R. Handwritten Signature Authentication using Artificial Neural Networks. *IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings*. 10.1109/IJCNN.2006.247206. / Heinen Milton Roberto, Osorio Fernando. // - 2006. - pp.5012 - 5019.
7. Kshitij S. Off-line Handwritten Signature Verification using Artificial Neural Network Classifier / Kshitij Sisodia, S. Mahesh Anand // *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol 2, No. 2. - ACADEMY PUBLISHER, ACEEE, 2009. - pp.205-207.
8. TensorFlow. An open-source software library for Machine Intelligence [Electronic resource] Access mode: URL: <https://www.tensorflow.org/>
9. NVIDIA cuDNN. The NVIDIA CUDA Deep Neural Network library (*cuDNN*) [Electronic resource] Access mode: URL: <https://developer.nvidia.com/cudnn>
10. MLlib | Apache Spark. *MLlib* is Spark's machine learning (ML) library. [Electronic resource] Access mode: URL: <https://spark.apache.org/docs/latest/ml-guide.html>

**Луцків А.М., Молицький В.В.**  
**Автоматизированная система тестирования психологической готовности к выполнению критических задач на основе динамической подписи**

*В статье рассмотрены методы и средства для организации автоматизированной компьютерной системы аутентификации оператора по динамической подписи для задачи тестирования психологической готовности к выполнению критических задач. Приведены математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, на котором базируется работа такой системы. Для задачи аутентификации и диагностики объединены использования стохастического подхода и аппарата искусственных нейронных сетей. Предложено диагностические критерии определения удовлетворительного психоэмоционального состояния оператора.*

**Ключевые слова:** биометрическая аутентификация, готовность к выполнению критических задач, динамическая подпись

**Lutskiv AM, Molitsky V. Automated testing system for psychological readiness to perform critical tasks based on dynamic signature**

*The article deals with methods and tools focused on automated computer system organization of operator authentication with an on-line signature in order to test psychological readiness to perform critical tasks. The mathematical, algorithmic and software tools being at the basis of such system are presented. For the purpose of authentication and diagnostics the combination of stochastic approach and artificial neural networks is used. Diagnostic criteria for determining the satisfactory psychoemotional state of the operator are proposed.*

**Keywords:** biometric authentication, readiness to perform critical tasks, on-line signature

**Луцків А. М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: [landriy@gmail.com](mailto:landriy@gmail.com)

**Молицький В. В.** – магістр кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: [molitskyi@gmail.com](mailto:molitskyi@gmail.com)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Смолій В.М.**

Стаття подана 23.08.2017