

УДК 004.89:004.056.53

DOI: 10.31673/2412-9070.2025.061201

В. П. ШАПОВАЛ¹, аспірант;

ORCID: 0009-0000-5334-4841

Я. В. ТАРАСЕНКО², д-р техн. наук, провідний науковий співробітник,

ORCID: 0000-0002-5902-8628

¹Черкаський державний технологічний університет²Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЕНТІВ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ

У роботі представлено інформаційну систему інтелектуального вимірювання коефіцієнтів психологічного стану. Наведено її контекстну діаграму та структурно-логічну схему. Запропоновано дворівневу архітектуру на основі визначення первинних психологічних функціональних станів та глибинного аналізу психофізіологічного стану. Вдосконалено параметрично-динамічну модель за рахунок дворівневого кореляційно-регресійного аналізу. Наведена архітектура та вдосконалена модель прогнозування дозволила досягти підвищення точності визначення психологічних коефіцієнтів за рахунок інтелектуального вимірювання при зменшенні імовірності виникнення помилок першого та другого роду.

Ключові слова: інформаційна система моніторингу; психологічні коефіцієнти; прогнозування загроз; інтелектуальне вимірювання; параметрично-динамічна модель.

Вступ

Виклики сьогодення, з якими стикається як приватний, так і державний сектор пов'язані з внутрішніми факторами, спричиненими діями персоналу. Відзначається позитивна динаміка зростання рівня розповсюдженості та ускладнення форм та причин прояву подібних дій. У звіті [1] представлено актуальні на 2025 рік дані щодо аналізу ризиків дій персоналу – так званих інсайдерських атак. Відповідно до цих даних, середні витрати на боротьбу та ліквідацію наслідків складають 17.4 мільйонів доларів. У порівнянні попереднім роком спостерігається збільшення на 7.4%. Форми прояву широко диференційовані, що ускладнює боротьбу з такими загрозами. До таких форм належать: крадіжка та витік даних (45% від усіх інцидентів), саботаж та порушення у роботі (22%), шахрайство та розкрадання (18%), порушення конфіденційності (15%). Приведено лише загальні форми, декомпозиція яких дозволяє оцінити складність та різноманіття розглянутого явища. Причини кожної форми прояву явища інсайдерських атак відрізняються в залежності від зазначеної форми. Така ситуація ускладнює процедури виявлення та попередження негативних наслідків як фінансового, так і репутаційного характеру. Зазначений вище звіт вказує середнє значення часу, необхідного для виявлення інциденту, яке складає 81 день.

Актуальною є задача швидкого превентивного виявлення ознак, які вказують на потенційну загрозу від персонального складу організації з метою виявлення інциденту на початкових етапах або до його виникнення. Визначення імовірних причин прояву ознак загрози є обов'язковою складовою для автоматизованого формування прогнозу. Необхідною умовою для цього є розробка та використання інформаційних систем з інтелектуальною складовою для попередження інсайдерських атак.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день існує ряд інформаційних систем виявлення інцидентів різного спрямування. Відповідно до звіту [1] рекомендовано до використання при виявленні інсайдерських

атак та моніторингу персоналу наступні типи інформаційних систем: аналізу поведінки користувачів (User and Entity Behavior Analytics – UEBA), запобігання втрати даних (Data Loss Prevention – DLP), рішення на основі кінцевих точок та системи аналізу поведінки на основі машинного навчання. У роботі [2] виділяють такі відомі системи та засоби управління ризиками інсайдерських атак, як Ekan, Veriato, Proofpoint, Teramid. Зазначені засоби ґрунтуються та поєднують різні рекомендовані підходи, але націлені безпосередньо на виявлення конкретних дій зловмисника, а не на превентивне виявлення. Аналіз релевантних досліджень демонструє брак практичних реалізацій систем превентивного виявлення. Теоретичні дослідження [3] в цьому напрямку ведуться та описують концептуальні положення щодо дослідження психологічного аспекту у процесі моделювання інсайдерських атак. Широко застосовуються сучасні технології обробки природньої мови при виявленні загрозливих станів у порівнянні з побудованим профілем, що описано у роботі [4]. Існуючі розробки практичного характеру не використовуються як компонент визначення психологічних станів, а як інструмент для аналізу поведінкових факторів (UEBA) при тому, що теоретичні дослідження доводять важливість і психологічних станів для прогнозування подальших дій персоналу. У роботі [5] доводиться можливість використання психологічного аналізу в системах менеджменту складних організаційно-технологічних об'єктів для попередження витоків інформації як одного з напрямків інсайдерських атак та визначення особи зловмисника.

Існують окремі системи вимірювання психологічних показників. У роботі [6] наводиться огляд реальних реалізацій визначення емоції за рахунок вимірювання психологічних сигналів. Робота [7] присвячена виявленню емоцій та когнітивних станів за рахунок використання штучного інтелекту. Усі подібні інформаційні системи не можуть продемонструвати точність, достатню для прогнозування імовірних причин зміни психологічного стану у реальному часі з метою використання цих даних для формування висновків щодо можливості виникнення інсайдерського інциденту та його видової диференціації.

Існує проблема точності результатів та виникнення помилок першого та другого роду, де зміна психологічного стану сприймається як можлива атака у випадку, коли вона не є такою і де зміна психологічного стану не інтерпретується як можлива атака у випадку, коли вона такою є.

Метою статті є підвищення точності визначення психологічних коефіцієнтів, які вказують на імовірну причину часової динаміки психологічних станів в інформаційних системах моніторингу інсайдерських загроз за рахунок інтелектуального вимірювання цих коефіцієнтів.

Основна частина

Підвищення точності результатів роботи інформаційної системи інтелектуального вимірювання психологічних станів передбачає обов'язкове дотримання вимог до оперативності, адаптивності й автоматизації процесів вимірювання та інтерпретації результатів системою для формування загального висновку. Застосування інтелектуального вимірювання в такому випадку передбачає визначення коефіцієнтів та інтерпретацію їх за рахунок присвоєння вагових значень. Характерною особливістю такого виду інформаційно-вимірювальної системи є аналітика та прогнозування, що надає можливість сформулювати оціночні значення імовірних причин динамічної зміни психологічних станів у часі.

Як зазначається у роботі [8] в інформаційних системах прогнозування зазвичай використовується параметрично-динамічна модель. Використання такої моделі достатньо для аналізу лінійних психологічних залежностей, але вона потребує значного доопрацювання з метою підвищення точності визначення психологічних коефіцієнтів.

Запропонована інформаційна система надає інструменти додаткової перевірки вимірних показників для підвищення точності загального результату. Для інтелектуального проведення уточнень пропонується гібридна двоетапна система, яка передбачає проведення первинного відеомоніторингу з подальшим уточненням шляхом глибинного психолінгвістичного аналізу осіб, які виявили зміни психічних функціональних станів. Результати аналізу порівнюються з результатами первинного психолінгвістичного аналізу та досліджуються зміни з метою подальшого прогнозування причин та загрози.

Важливу роль відіграють значення вагових коефіцієнтів психологічних станів. Визначення вагових коефіцієнтів описано в методі інтелектуального відеомоніторингу первинних ознак психологічного стану [9]. Система проводить дослідження динаміки зміни значень психологічних коефіцієнтів у порівнянні з попередніми значеннями як за зовнішніми ознаками, отриманими по результатам відеомоніторингу, так і по результатам, які зберігаються у базі даних та формують висновок з урахуванням вагових коефіцієнтів.

Відповідно до роботи [10] фази циклу діагностування психологічного стану відіграють важливу роль у розумінні структури системи. З метою висвітлення процедури вдосконалення параметрично-динамічної моделі у запропонованій системі, на рис. 1 представлено фази інтелектуального вимірювання психологічного стану.

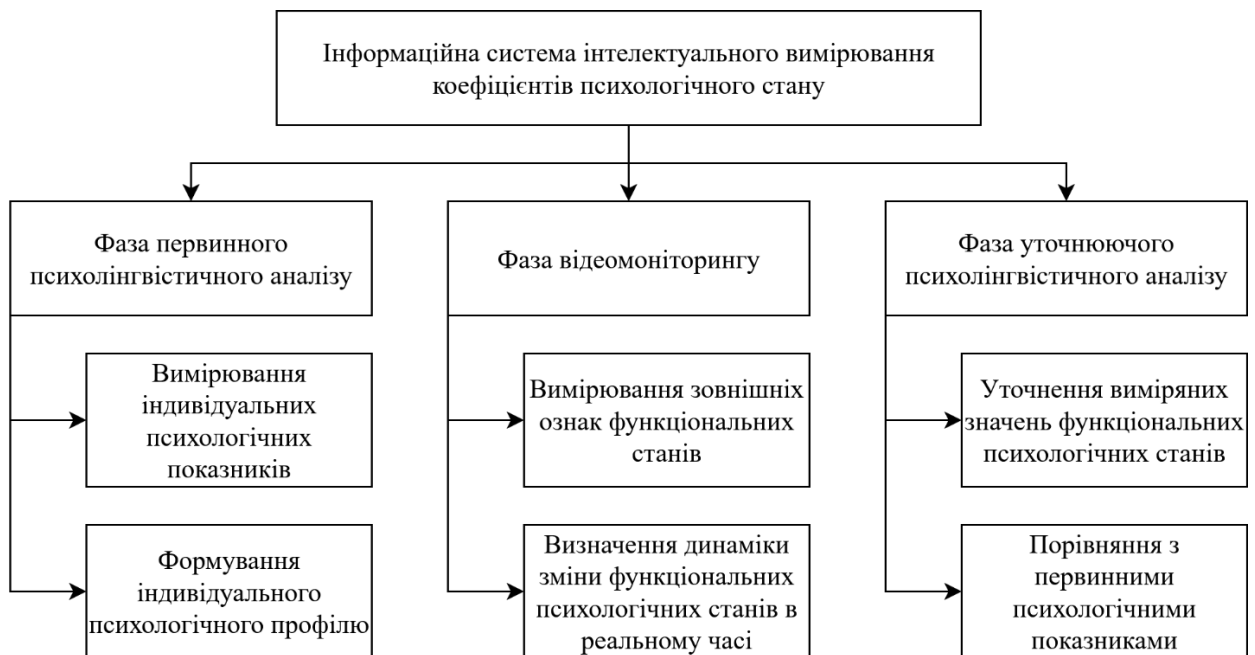


Рис. 1. Фази інтелектуального вимірювання психологічного стану

Для демонстрації взаємодії системи із зовнішніми сутностями та зовнішніх зв'язків удосконаленої моделі було сформовано контекстну діаграму запропонованої інформаційної системи.

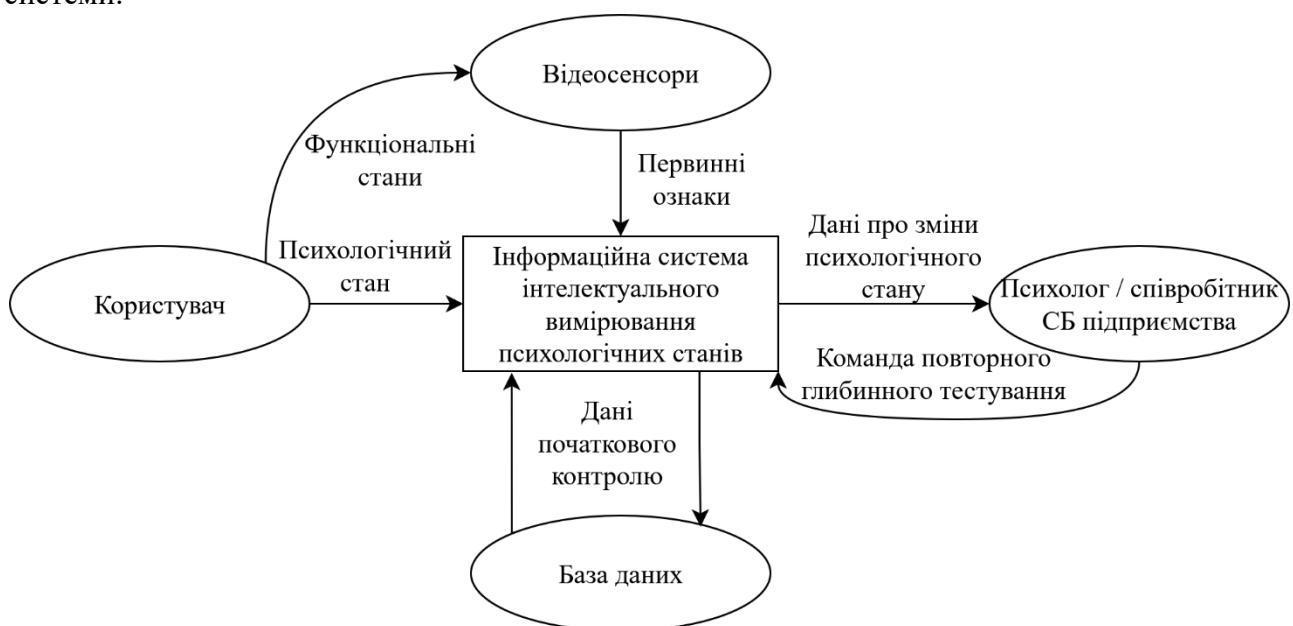


Рис. 2. Контекстна діаграма інформаційної системи інтелектуального вимірювання психологічних станів

Внутрішні процеси обробки даних, взаємодія модулів інформаційної системи та процеси формування вимірних параметрів, на основі яких приймається рішення інформаційною системою інтелектуального вимірювання психологічних станів, представлено на рис. 3.

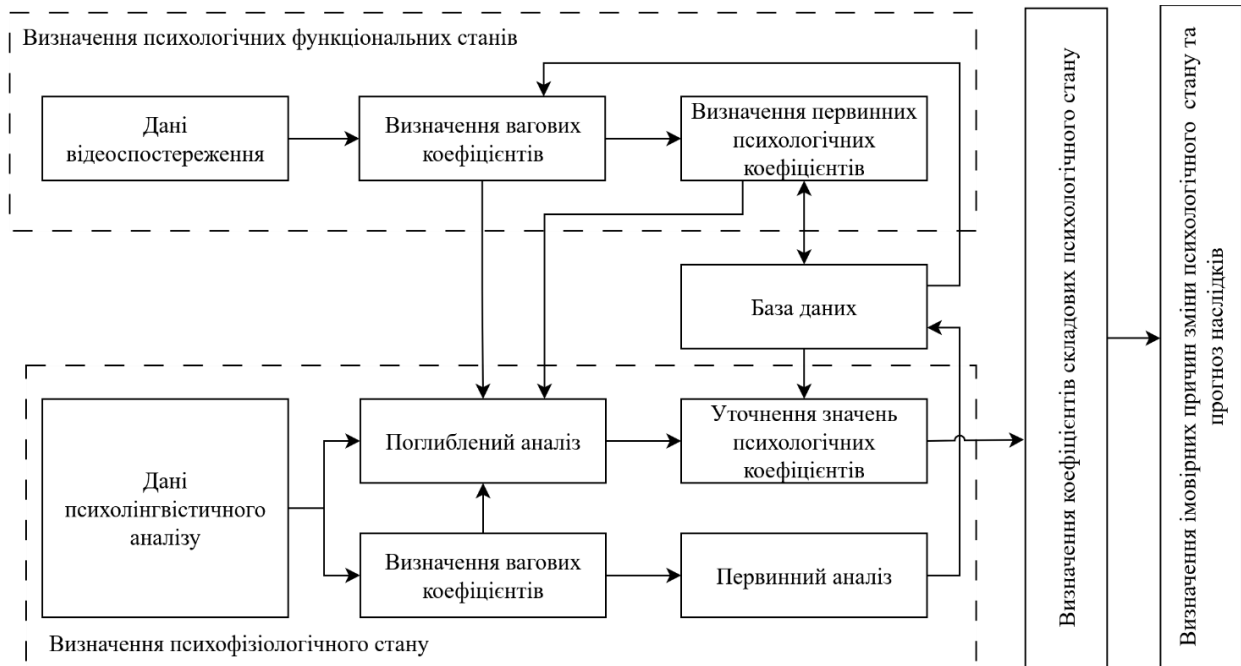


Рис. 3. Структурно-логічна схема функціонування інформаційної системи інтелектуального вимірювання психологічних станів

На діаграмі відображено дворівневу архітектуру запропонованої інформаційної системи, яка передбачає визначення психологічних функціональних станів та уточнюючий психофізіологічний аналіз на основі психолінгвістичного дослідження.

Ґрунтуючись на даних статті [11], було побудовано параметрично-динамічну модель інформаційної системи та вдосконалено її. Стаття надає методологічний апарат для визначення психологічних станів та моделювання невідомих впливів. Параметрично-динамічна модель за наданим методологічним апаратом описується формулою:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= A(p_k)x_k + B(p_k)u_k + E(p_k)w_k, \\ y_k &= C(p_k)x_k + D(p_k)u_k + v_k \end{aligned} \quad (1)$$

де x_k – вектор прихованих психологічних станів в момент k ; y_k – вектор первинних вимірювань; u_k – відомі контекстні входи; p_k – вимірні змінні; w_k , v_k – процесний та вимірювальний шум; A , B , C , D , E – матриці, які плавно залежать від вимірних змінних.

У запропонованій системі вдосконалено параметрично-динамічну модель за рахунок використання дворівневого кореляційно-регресійного аналізу. Регресія в такому випадку розподіляється за двома типами: локальна регресія та метарегресія. Локальна дозволяє дослідити динаміку змін психологічних функціональних станів під час відеоспостереження чи зміну психофізіологічних станів при порівнянні результатів глибинного психолінгвістичного аналізу з результатами первинного. Метарегресія дозволяє дослідити причини зміни психофізіологічних чи психологічних функціональних станів та зробити прогноз ризиків інсайдерських атак.

Відповідно до дворівневої архітектури інформаційної системи, локальна регресія поділяється на два види за кожним рівнем архітектури. Локальна регресія для рівня визначення психологічних функціональних станів описується формулою:

$$\hat{x}_{k,l}^{(j)} = g_0^{(j)} + \sum_{n=1}^N g_n^{(j)} P_{v,k}^{(n)} + \varepsilon_k^{(j)}, \quad (2)$$

де j – психологічний стан; $g^{(j)}$ – ваговий коефіцієнт психологічного функціонального стану; P

– коефіцієнт психологічного функціонального стану, визначений за даними відеоспостереження.

Локальна регресія для рівня визначення психофізіологічного стану описується формулою:

$$\hat{x}_{k,l}^{(j)} = g_0^{(j)} + \sum_{n=1}^N g_n^{(j)} H_{v,k}^{(n)} + \varepsilon_k^{(j)}, \quad (3)$$

де g' – ваговий коефіцієнт психофізіологічного стану; H – коефіцієнт психофізіологічного стану, визначений за даними аналізу.

Метарегресія описується формулою:

$$\log \frac{P(r_k = 1)}{1 - P(r_k = 1)} = \gamma_0 + \sum_{j=1}^n \gamma_j \hat{x}_k^{(j)} + \sum_{j=1}^g \delta_j G_{k,l}^{(p)} + \sum_{j=1}^n \eta_j \Delta \hat{x}_k^{(j)}, \quad (4)$$

де r_k – індикатор ризику інсайдерської атаки; $G_{k,l}$ – результати уточнюючого психолінгвістичного аналізу (уточнення значень психологічних коефіцієнтів); $\Delta \hat{x}_k^{(j)}$ – зміна психологічного стану.

При описі локальної та метарегресії враховано як вагові коефіцієнти обох рівнів архітектури, так і вагові коефіцієнти кожного окремого рівня регресії.

Процедура формування багатошарового перцептрону описується на основі стандартної моделі перцептрону за формулою:

$$\hat{x}_k^{(j)} = \phi(W^{(l)} h^{(l-1)} + b^{(l)}), \quad (5)$$

де ϕ – активація для регресії; W – вагові коефіцієнти; b – зсув; h – коефіцієнт психологічного стану відповідного рівня.

На основі класичного підходу прогнозування ризику сформовано імовірнісну регресію за принципом логістичної регресії, яка формує комбінований прогноз імовірності загрози з урахуванням можливих причин за формулою:

$$P(r_k = 1 | \cdot) = \sigma(g_0 + \sum_{j=1}^n g_j \hat{x}_k^{(j)} + \sum_{c=1}^C w_c P^{(c)} + \sum_{l=1}^q \xi_l G_{k,l}^{(p)} + \psi o_k), \quad (6)$$

де w_c – ваговий коефіцієнт впливу можливих причин на імовірні загрози; C – множина можливих причин; σ – логістична функція; o_k – якість даних.

Причина зміни стану оцінюється через імовірність, а загроза інсайдерської атаки виступає у вигляді узагальненого ризику.

Для аналізу точності визначення психологічних коефіцієнтів у розрізі прогнозування причини часової динаміки психологічних станів було виконано симуляцію поведінки системи в середовищі Python із використанням бібліотек Scikit-learn та NumPy. Проведено моделювання динаміки психологічних (функціональних станів та психолінгвістичних параметрів) показників в часовому проміжку.

Для оцінювання було використано такі метрики: точність, інтегральна оцінка (показник AUC), помилки 1-го роду (хибне спрацювання), помилки 2-го роду (пропущене спрацювання). Порівняння результатів проводилось із звичайною параметрично-динамічною моделлю (LPV) до вдосконалення та двома аналогічними підходами, які за [12] широко використовуються у задачах прогнозування, а саме використанням лише багатошарового перцептрона (MLP) та застосуванням градієнтного бустингу (GBM). Порівняльну діаграму показників представлено на рис. 4.

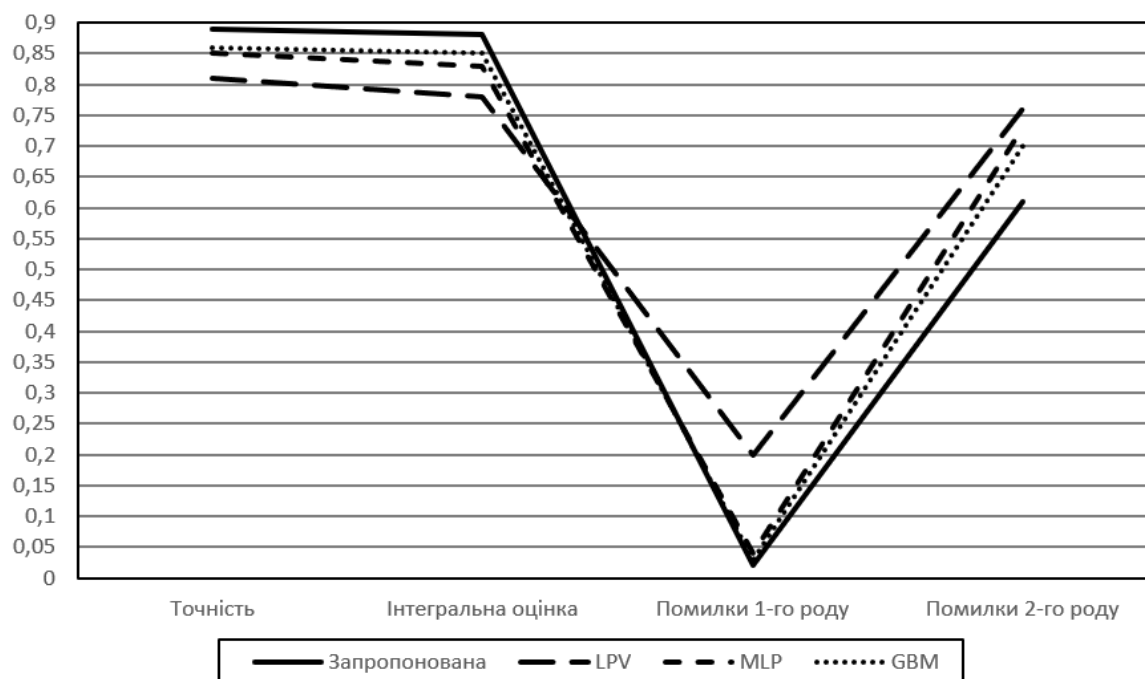


Рис. 4. Порівняльна діаграма показників запропонованої вдосконаленої моделі та аналогічних моделей

Вдосконалена модель демонструє найвищі значення як інтегрального показника, так і окремо показника точності. Точність визначення психологічних коефіцієнтів вище на 8-10% порівняно з аналогічними моделями. Частота виникнення помилок першого та другого роду у запропонованій моделі найнижча. Середній показник виникнення помилок зменшено на 20%.

Висновки

Таким чином, розроблено інформаційну систему інтелектуального вимірювання психологічних коефіцієнтів, які вказують на причину часової динаміки психологічних станів на основі дворівневої архітектури, що базується на визначенні первинних психологічних функціональних станів та уточнення їх шляхом глибинного аналізу психофізіологічного стану.

У роботі було вдосконалено параметрично-динамічну модель прогнозування причини часової динаміки психологічних станів на основі використання кореляційно-регресійного аналізу за рахунок дворівневого підходу, що дало можливість підвищити точність визначення психологічних коефіцієнтів на 8-10% у порівнянні з аналогічними підходами та зменшити усереднене значення імовірності помилок 1-го та 2-го роду на 20%.

При вимірюванні враховуються вагові коефіцієнти первинного аналізу та відеоконтролю. За рахунок визначення імовірних причин часової динаміки психологічних станів досягається підвищення точності їх інтелектуального вимірювання.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання інформаційної системи в інформаційних комплексах захисту від потенційних інсайдерських атак підприємств установ та організацій приватного і державного сектору.

Перспективою подальших досліджень є розширення класів вимірюваних параметрів та входних каналів інформації для зменшення рівня потенційного вимірювального шуму.

Список літератури

1. *Insider Threat Trends 2025* [Electronic resource] / Insiderisk. – 2025. – Mode of access: <https://www.insiderisk.io/research/insider-threat-trends-2025>.
2. Alsowail R. A. *Techniques and countermeasures for preventing insider threats* [Electronic resource] / R.A. Alsowail, T. Al-Shehari // *PeerJ Computer Science*. – 2022. – Vol. 8. – Mode of access: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.938>.

3. Psychological modelling of insider threat risk based on behavioral and word use analysis / F.L. Greitzer [et al.] // *e-Service Journal*. – 2013. – Vol. 9, № 1. – P. 106-138.
4. Eftimie S. Insider threat detection using natural language processing and personality profiles / S. Eftimie, R. Moinescu, C. Racuciu // *13th International Conference on Communications (COMM)*, Bucharest, Romania, June 18-20, 2020. – P. 325-330.
5. Developing the comprehensive technology for alternative management of complex organizational and technological objects in the conditions of cyber threats / T. Prokopenko [et al.] // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2022. – Vol. 3187. – P. 170-181.
6. A review of emotion recognition using physiological signals [Electronic resource] / L. Shu [et al.] // *Sensors*. – 2018. – Vol. 18, № 7. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/s18072074>
7. El Maazouzi Q. Multimodal detection of emotional and cognitive states in e-learning through deep fusion of visual and textual data with NLP [Electronic resource] / Q. El Maazouzi, A. Retbi // *Computers*. – 2025. Vol. 14, № 8. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/computers14080314>
8. Бісікало О. База знань інтелектуальної інформаційної системи прогнозування фазової стабільності твердих розчинів / Бісікало О., Кудрик О. // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2023. – Том 56, № 1. – С. 13-21.
9. Шаповал В. П. Метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану / В.П. Шаповал, Я.В. Тарасенко // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. – 2025. – Т. 2, № 2. – С. 222-227.
10. Григоришен О. О. Інформаційно-аналітична система визначення психологічного стану людини / О.О. Григоришен, І.С. Колесник, Л.А. Савицька // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2021. – № 3. – С. 4-9.
11. Zhu F. Consensus control of linear parameter-varying multi-agent systems with unknown inputs [Electronic resource] / F. Zhu, C. Tan // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, № 11. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/s23115125>
12. Machine learning for human emotion recognition: a comprehensive review / Eman M.G. Younis // *Neural Computing and Applications*. – 2024. – Vol. 36. – P. 8901-8947.

V. Shapoval, Ya. Tarasenko

INFORMATION SYSTEM FOR INTELLIGENT MEASUREMENT OF PSYCHOLOGICAL STATE COEFFICIENTS

The paper presents an information system for the intelligent measurement of psychological state coefficients that indicate the cause of the temporal dynamics of psychological states. The phases of intelligent measurement, a contextual diagram, and a structural-logical diagram of the system's functioning are provided. A two-level architecture is proposed based on the determination of primary psychological functional states and in-depth analysis of the psychophysiological state. In-depth analysis refines the measured values of primary psychological functional states obtained through video monitoring. The parametric-dynamic model for predicting the cause of the temporal dynamics of psychological states has been improved through a two-level correlation-regression analysis. The presented architecture and improved prediction model have made it possible to increase the accuracy of determining psychological coefficients by 8-10% while reducing the average probability of errors of the 1st and 2nd kind by 20% compared to the parametric-dynamic model before improvement and other similar models used in solving the problems addressed in this work. The intellectual measurement process takes into account the weighting coefficients of both the initial analysis and video monitoring. The measurement results are influenced by clarifying psycholinguistic tests. The accuracy of the intellectual measurement of psychological states is improved by identifying the probable causes of their temporal dynamics. The proposed information system is important for the development of information complexes to counter various types of insider attacks in the private and public sectors. The improved model is the basis for the further development of approaches to the intellectual measurement of psychological state coefficients in the direction of increasing their accuracy and speed of processing data that comes to the intellectual measurement system.

Keywords: information monitoring system; psychological coefficients; threat prediction; intelligent measurement; parametric-dynamic model.