

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

Шаповал Володимир Петрович

УДК 004.89:004.93:159.9

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ  
ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ СПІВРОБІТНИКІВ ДЕРЖАВНИХ ТА  
КОМЕРЦІЙНИХ СТРУКТУР**

126 – Інформаційні системи та технології

12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів  
мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_Володимир ШАПОВАЛ

Науковий керівник: Лавданська Ольга В'ячеславівна, кандидат технічних наук, доцент

Черкаси – 2026

## АНОТАЦІЯ

**Шаповал В.П. Інформаційна технологія інтелектуального моніторингу психологічного стану співробітників державних та комерційних структур. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології (12 Інформаційні технології). – Черкаський державний технологічний університет, Міністерство освіти і науки України, Черкаси, 2026.

Дисертація присвячена вирішенню науково-практичної задачі підвищення точності визначення індикаторів психологічних коефіцієнтів та зменшення імовірності виникнення помилок 1-го та 2-го роду в процесі моніторингу на основі розробки та реалізації інформаційної технології безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану співробітників державних і комерційних структур.

У першому розділі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, проаналізовано сучасний стан проблеми безперервного моніторингу психологічного стану співробітників державних та комерційних структур, а також досліджено підходи до виявлення ризиків, пов'язаних із людським фактором. Розглянуто існуючі методи психологічного тестування, засоби відеомоніторингу, психолінгвістичного аналізу, мультимодальні інформаційні системи та підходи до етичної обробки персональних даних. На основі проведеного аналізу визначено основні обмеження наявних рішень, зокрема їх дискретність, одноmodalність, недостатню адаптивність і відсутність цілісної інтеграції в межах безперервного інформаційно-аналітичного контуру, що дало змогу сформулювати постановку науково-практичної задачі дослідження.

У другому розділі розроблено метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану, який орієнтований на безперервне виявлення психофункціональних девіацій у відеопотоці. Визначено модель вхідних даних, систему первинних відеоознак, підхід до інтервального агрегування та механізм формування вагових коефіцієнтів значущості психологічних станів.

Описано структурно-логічну схему та алгоритм функціонування методу, а також введено коефіцієнт девіації як тригер переходу до поглибленого аналізу. Наведено результати експериментальної перевірки методу та оцінено його ефективність у задачах первинного моніторингу.

У третьому розділі розроблено двофазний метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників для уточнення психологічних функціональних станів, визначених за результатами відеомоніторингу. Сформовано модель вхідних даних психолінгвістичної модальності, структуру первинного психолінгвістичного профілю та трирівневу систему ознак, що включає синтаксичні, лексико-семантичні та дискурсні характеристики. Описано етапи функціонування методу, механізм глибинного уточнення психологічних коефіцієнтів та адаптивну ф'южн-модель узгодження вагових характеристик текстової і відеомодальностей. Наведено результати симуляційного експерименту, які підтверджують ефективність розробленого методу та дають змогу сформулювати умови його застосовності.

У четвертому розділі розроблено інформаційну систему інтелектуального моніторингу психологічного стану співробітників, яка інтегрує метод первинного відеоконтролю та метод психолінгвістичного уточнення в єдиний безперервний інформаційно-аналітичний контур. Сформовано структурно-функціональне представлення архітектури системи, параметрично-динамічну модель її функціонування, а також графове й табличне подання інформаційних потоків і станів. Окремо розглянуто питання етичної обробки персональних даних, контролю доступу та криптографічного захисту інформації. Наведено результати експериментальної перевірки ефективності інформаційної системи, виконано порівняння з аналогами та підтверджено доцільність її використання для задач безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану персоналу.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше розроблено метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану на основі компактної нейромережевої моделі та інтервального узгодження оцінок шляхом тригеризації глибинного дослідження за рахунок перманентного аналізу відеоряду, що дозволило забезпечити відстежування

динаміки психологічних функціональних станів співробітників для формування первинних психологічних коефіцієнтів та підвищити ефективність відеомоніторингу психологічних показників.

- вперше розроблено двофазний метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників на основі вагового узгодження вимірювань у мовній та відеомодальностях за рахунок використання адаптивної ф'южн-моделі інтеграції психолінгвістичних показників, що дозволило виконувати глибинне уточнення вагових значень первинних індикаторів психологічних коефіцієнтів та підвищити точність вимірювання.

- удосконалено параметрично-динамічну модель прогнозування часової динаміки психологічних станів на основі використання кореляційно-регресійного аналізу за рахунок дворівневого підходу, що дозволило виконувати інтелектуальне вимірювання психологічних показників у різних модальностях та дало можливість підвищити точність визначення психологічних коефіцієнтів і зменшити імовірність помилок 1-го та 2-го роду.

**Практичне значення отриманий результатів** полягає у використанні розробленої технології, методів, які є її складовими для проєктування та реалізації інформаційних систем моніторингу та обробки інформації щодо психологічного стану співробітників державних та комерційних структур в режимі реального часу. Результати роботи доведені до програмного забезпечення, придатного в практиці побудови інформаційних систем моніторингу. Розроблено відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення, що дозволило виконати верифікацію розроблених методів та інформаційної системи.

За результатами натурного та симуляційних експериментів, оцінювання та впровадження результатів дисертаційного дослідження досягнуто підвищення точності визначення психологічних коефіцієнтів з використанням інформаційної технології на 8-10% у порівнянні з аналогами і зменшення усередненого значення імовірності помилок 1-го та 2-го роду на 20%.

Практична цінність роботи підтверджена актами впровадження основних результатів дисертаційного дослідження: в ТОВ “СВІТ ЛАСОЩІВ” – для

підвищення ефективності систем відеоспостереження при використанні модуля первинного відеомоніторингу та в освітній процес Черкаського державного технологічного університету при викладанні дисциплін: “Аналіз, моделювання та проєктування архітектури інформаційних систем”, “Методології створення інформаційних систем” здобувачам вищої освіти рівня бакалавр та магістр спеціальності “Інформаційні системи та технології”.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, інтелектуальний моніторинг, психофункціональні стани, інтелектуальний відеоконтроль, психолінгвістичні показники, мультимодальність, адаптивна ф’южн-модель, параметрично-динамічна модель, інформаційна система, криптографічний захист інформації, СЕТ-шифрування.

## ABSTRACT

*Shapoval V.P.* Information technology for intelligent monitoring of the employees' psychological state in public and commercial organizations. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 126 – Information Systems and Technologies (12 Information Technologies). – Cherkasy State Technological University, Cherkasy, 2026.

The thesis is devoted to solving the scientific and applied problem of improving the accuracy of determining indicators of psychological coefficients and reducing the probability of Type I and Type II errors in the monitoring process through the development and implementation of an information technology for continuous intelligent monitoring of the psychological state of employees in public and commercial organizations.

The first chapter substantiates the relevance of the thesis topic, analyzes the current state of the problem of continuous monitoring of employees' psychological state in public and commercial organizations, and examines approaches to identifying risks associated with the human factor. Existing methods of psychological testing, video monitoring tools, psycholinguistic analysis tools, multimodal information systems, and approaches to the ethical processing of personal data are considered. Based on the analysis performed, the main limitations of existing solutions are identified, in particular their discreteness, unimodality, insufficient adaptability, and the lack of holistic integration within a continuous information-analytical loop, which made it possible to formulate the statement of the scientific and applied research problem.

The second chapter develops a method of intelligent video monitoring of the psychological state's primary signs, aimed at the continuous detection of psychophysiological deviations in a video stream. The input data model, the system of primary video features, the interval aggregation approach, and the mechanism for forming weighting coefficients of the significance of psychological states are determined. The structural-logical scheme and the operating algorithm of the method are described, and a deviation coefficient is introduced as a trigger for transition to in-depth analysis. The

results of the experimental verification of the method are presented, and its effectiveness in primary monitoring tasks is evaluated.

The third chapter develops a two-phase method for intelligent measurement of psycholinguistic indicators to refine psychological functional states identified from video monitoring results. A psycholinguistic modality input data model, the structure of the primary psycholinguistic profile, and a three-level feature system including syntactic, lexical-semantic, and discourse characteristics are formed. The stages of the method operation, the mechanism for in-depth refinement of psychological coefficients, and an adaptive fusion model for harmonizing the weight characteristics of text and video modalities are described. The results of a simulation experiment are presented, confirming the effectiveness of the developed method and making it possible to formulate the conditions of its applicability.

The fourth chapter develops an information system for intelligent monitoring of employees' psychological state, which integrates the method of primary video monitoring and the method of psycholinguistic refinement into a single continuous information-analytical loop. A structural-functional representation of the system architecture, a parametric-dynamic model of its functioning, graph-based and tabular representations of information flows and states are formed. The issues of ethical processing of personal data, access control, and cryptographic protection of information are considered separately. The results of the experimental evaluation of the effectiveness of the information system are presented, comparisons with state-of-the-art approaches are performed, and the feasibility of its use for continuous intelligent monitoring of the psychological state of personnel is confirmed.

#### **Scientific novelty of the obtained results:**

- for the first time, a method of intelligent video monitoring of primary signs of the psychological state based on a compact neural network model and interval-based harmonization of estimates through trigger-based activation of in-depth analysis by means of continuous video sequence analysis has been developed, which made it possible to track the dynamics of employees' psychological functional states for the formation of primary

psychological coefficients and to improve the efficiency of video monitoring of psychological indicators;

- for the first time, a two-phase method for intelligent measurement of psycholinguistic indicators based on weighted harmonization of measurements in language and video modalities through the use of an adaptive fusion model for integrating psycholinguistic indicators has been developed, which made it possible to perform in-depth refinement of the weight values of primary indicators of psychological coefficients and to improve measurement accuracy;

- the parametric-dynamic model for forecasting the temporal dynamics of psychological states based on correlation-regression analysis has been improved through a two-level approach, which made it possible to perform intelligent measurement of psychological indicators in different modalities and provided an opportunity to improve the accuracy of determining psychological coefficients and reduce the probability of Type I and Type II errors.

**The practical significance** of the obtained results lies in the use of the developed technology and its constituent methods for the design and implementation of information systems for real-time monitoring and processing of information on the psychological state of employees in public and commercial organizations. The results of the work have been brought to the level of software suitable for practical application in the development of monitoring information systems. Appropriate algorithmic and software has been developed, which made it possible to verify the developed methods and the information system.

Based on the results of full-scale and simulation experiments, evaluation, and implementation of the thesis research results, an increase of 8-10% in the accuracy of determining psychological coefficients using the developed information technology, as compared with state-of-the-art approaches, and a 20% reduction in the average probability of Type I and Type II errors were achieved.

The practical value of the work is confirmed by implementation certificates of the main results of the thesis: at LLC “SVIT LASOSHCHIV” – to improve the efficiency of video surveillance systems through the use of the primary video monitoring module, and



in the educational process of Cherkasy State Technological University in teaching the courses “Analysis, Modeling and Design of Information System Architecture” and “Methodologies for Information System Development” to bachelor’s and master’s students in the specialty “Information Systems and Technologies”.

**Keywords:** information technology, intelligent monitoring, psychophysiological states, intelligent video monitoring, psycholinguistic indicators, multimodality, adaptive fusion model, parametric-dynamic model, information system, cryptographic protection of information, CET-encryption.

### Список опублікованих праць за темою дисертації:

– *статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України (категорія “Б”):*

1. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2025. Том 36 (75), № 2. Частина 2. С. 222-227. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.2/30>

2. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників для динамічних систем безперервного моніторингу психологічного стану. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025. № 4 (95). Частина 3. С. 301-308. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.3.35>

3. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Інформаційна система інтелектуального вимірювання коефіцієнтів психологічного стану. *Зв'язок*. 2025. № 6 (178). С. 66-72. DOI: <https://doi.org/10.31673/2412-9070.2025.061201>

– *стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому в базі даних Scopus:*

4. Tarasenko Ya., Chervotoka O., Orlov S., Lada N., Shapoval V., Piskozub A. A model of a secure information system for cognitive data processing in IoT sensor networks for laboratory climatic testing. *CEUR WS*. 2025. Vol. 4042. P. 90-104. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17501340>

– *наукові праці, що засвідчують апробацію результатів дисертації:*

5. Тарасенко Я.В., Підласий Д.А., Шаповал В.П. Метод аналізу ефективності інформаційних технологій протидії деструктивному інформаційно-психологічному впливу. *Проблеми інформатизації: тези доповідей десятої міжнародної науково-технічної конференції (м. Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків, 24-25 листопада 2022 р.)*: зб. наукових праць. Т. 1. 2022. С. 86.

6. Шаповал В.П. Прикладне застосування методів комп'ютерної лінгвістики в задачах психодіагностики. *Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної*

*Інтернет-конференції (м. Черкаси, 9 грудня 2022 р.): зб. наукових праць. 2022. С. 87.*

7. Тарасенко Я.В., Шаповал В.П. Проблеми застосування психодіагностичних інформаційних систем в умовах інформаційного протиборства. *Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції (м. Черкаси, 6 грудня 2023 р.): зб. наукових праць. 2023. С. 85.*

8. Shapoval V.P., Tarasenko Ya.V. IoT technologies in adaptive intelligent remote measurement of psychophysiological deviations during work processes. *Scientific Community: Interdisciplinary Research: the Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference (Hamburg, November 6-8, 2025)*. Hamburg, Germany. P. 285-287.

9. Shapoval V.P., Tarasenko Ya.V., Lavdanska O.V. Information-technological aspects of ethical processing of personal data in combined remote monitoring information systems. *Science in the Environment of Rapid Changes : the Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference (Brussels, December 26-28, 2025)*. Brussels, Belgium. № 277. P. 423-425.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. СТАН І ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПЕРСОНАЛУ.....	22
1.1 Передумови застосування інформаційних технологій моніторингу станів персоналу в державному та комерційному секторі .....	22
1.2 Сучасні інформаційні технології моніторингу психологічного стану персоналу .....	27
1.2.1 Аналіз методів інформаційного моніторингу психологічного стану персоналу .....	27
1.2.2 Аналіз інформаційних засобів моніторингу психологічного стану персоналу .....	31
1.3 Архітектурні та етичні вимоги до інформаційних систем моніторингу психологічного стану .....	36
1.4 Обмеження та проблеми існуючих підходів до інтелектуального моніторингу психологічного стану персоналу .....	38
1.5 Постановка задачі дослідження .....	42
1.6 Висновки до розділу 1 .....	43
РОЗДІЛ 2. МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОКОНТРОЛЮ ПЕРВИННИХ ОЗНАК ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ .....	45
2.1 Модель вхідних даних для відеомоніторингу психологічних функціональних станів.....	45
2.2 Формалізоване представлення методу інтелектуального відеоконтролю та алгоритм його роботи .....	48
2.3 Формування вагових коефіцієнтів значущості та коефіцієнту девіації .....	56
2.4 Експериментальна та порівняльна перевірка методу інтелектуального відеоконтролю. Умови застосовності та обмеження.....	60
2.5 Висновки до розділу 2 .....	71

РОЗДІЛ 3. МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПСИХОЛІНГВІСТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У ДИНАМІЧНІЙ СИСТЕМІ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ .....	73
3.1 Модель вхідних даних для формування психолінгвістичних показників та первинного психологічного профілю .....	73
3.2 Формалізоване представлення двофазного методу вимірювання психолінгвістичних показників та алгоритм його роботи .....	78
3.3 Адаптивна ф'южн-модель узгодження вагових коефіцієнтів .....	85
3.4 Експериментальна та порівняльна перевірка методу інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників. Умови застосовності та обмеження .....	88
3.5 Висновки до розділу 3 .....	94
РОЗДІЛ 4. ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ СПІВРОБІТНИКІВ .....	96
4.1 Структурно-функціональне представлення архітектури інформаційної системи безперервного моніторингу психологічного стану .....	96
4.2 Формалізоване представлення параметрично-динамічної моделі інформаційної системи .....	102
4.3 Графове та табличне представлення інформаційної системи з урахуванням етичних принципів та захисту даних .....	109
4.4 Експериментальна перевірка та оцінювання ефективності інформаційної системи .....	116
4.5 Висновки до розділу 4 .....	123
ВИСНОВКИ .....	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	128
ДОДАТКИ .....	138
Додаток А .....	139
Додаток Б .....	142
Додаток В .....	147

## ВСТУП

У сучасних умовах цифровізації діяльності державних та комерційних структур істотно зростає роль інформаційних технологій, спрямованих на забезпечення стійкості робочих процесів і зниження ризиків, пов'язаних із людським фактором. Особливої ваги це набуває в умовах зростання кількості внутрішніх загроз, підвищених вимог до безперервності функціонування організаційних систем та засобів раннього виявлення змін у стані персоналу. Питанням оцінювання, діагностики та цифрової підтримки дослідження психологічного стану людини присвячено праці вітчизняних і зарубіжних науковців [7-13]. Значний внесок у психофізіологічний контроль, психологічне тестування, цифровізацію нейропсихологічних процедур, автоматизоване формування психодіагностичних інструментів і використання інформаційних засобів для аналізу стану персоналу зробили такі вчені: В.В. Кальниш, Н.П. Гуцуляка, О.Л. Музика, О.О. Музика, Ю.О. Оснадчук, М.Д. Кузьменко, M.G. Maggio та P. Lee.

Вагомий напрям досліджень пов'язаний із застосуванням методів комп'ютерного зору, відеоаналітики та психолінгвістичного аналізу для виявлення психоемоційних і поведінкових проявів. У сфері відеоорієнтованого аналізу відомими є праці M. Al-Nawashi, O.M. Al-Hazaimeh, M. Sarace, В.Б. Баляра, J. Kim, Ye. Amirgaliyev, Y. Li, S. Ebrahimi Kahou, Y. Fan [14-17, 61, 65, 66]. У психолінгвістичному напрямі вагомими є результати А.М. Одінцової, J. Maharjan, Y. Xiao, B. Sert, S.V. Ulker, M.A. Cohn, M.R. Mehl, J.W. Pennebaker, H.A. Schwartz, S. W. Kelley, C.M. Gillan, Y.R. Tausczik, J.W. Pennebaker [18-21, 68-70, 74]. У сукупності ці дослідження підтверджують доцільність використання як невербальних, так і мовних ознак у задачах інтелектуального моніторингу.

Окремий науковий напрям становлять мультимодальні інформаційно-аналітичні системи, методи ф'южн-інтеграції та узгодження різнорідних джерел даних. Вагомий внесок у цей напрям зробили T. Baltrusaitis, C. Ahuja, L.-P. Morency, P. K. Atrey, L.S. Khoo, G. Močnik, H. Wang, X. Feng, M. Sadeghi [23, 50, 72, 75-78].

Незважаючи на значний науковий доробок у зазначених напрямках, недостатньо уваги приділено створенню саме інформаційної технології безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану співробітників державних та комерційних структур, яка б поєднувала властивості безперервності, адаптивності, мультимодальності, інтерпретованості та етично коректної обробки даних. Значна частина існуючих підходів орієнтована на дискретне тестування, сесійне опитування або автономний аналіз лише однієї модальності. Окремо розробляються методи відеомоніторингу, психолінгвістичного аналізу, мультимодального навчання чи захисту персональних даних, проте питання їх системної інтеграції в єдиний безперервний інформаційно-аналітичний контур досліджено недостатньо.

**Актуальною** є задача підвищення точності та адаптивності безперервного моніторингу психологічного стану співробітників шляхом розробки інформаційної технології, яка поєднує інтелектуальний відеомоніторинг, психолінгвістичне уточнення, мультимодальне узгодження результатів та інтеграцію цих процедур у межах єдиної інформаційної системи.

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

Отримані в дисертаційному дослідженні результати пов'язані з науково-дослідною роботою Черкаського державного технологічного університету: “Інформаційна технологія психолінгвістичного аналізу тексту для стеганографічних систем” (ДР №0123U102085), в якій автор був виконавцем.

Тематика дисертації узгоджується з пріоритетними тематичними напрямками, визначеними в наступних нормативних документах: Постанова КМУ від 30.04.2024 № 476 “Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні” розділу “Інформаційні та комунікаційні технології”, зокрема позиціям пунктів: “Інтелектуальні інтерактивні інформаційно-аналітичні системи. Інтегровані системи баз даних та знань. Національні інформаційні ресурси” та “Системи штучного інтелекту”; Постанова Президії НАН України від 10.01.2024 № 8 “Основні наукові напрями та

найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2024-2028 рр.”, а саме: п. 1.2.1.7 – “Розроблення нових конструктивних моделей і математичних методів аналізу, обробки, класифікації, кластеризації та синтезу різнотипної комунікативної інформації для вирішення актуальних суспільно значимих проблем”; п. 1.2.1.8 – “Розроблення теоретичних засад обробки та розуміння природних мов, методів комп’ютерного зору”; п. 1.2.4.12 – “Розроблення і дослідження методів об’єднання різнорідної інформації в інтегрованих системах моніторингу зовнішньої обстановки”.

### **Мета і задачі дослідження**

**Метою роботи** є підвищення точності визначення індикаторів психологічних коефіцієнтів за рахунок глибинного уточнення результатів первинного моніторингу в інформаційних системах потокового збору та обробки психологічних показників на основі розробки технології безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану співробітників.

Для досягнення мети були поставлені наступні наукові **задачі**:

1. Розробити метод інтелектуального відеоконтролю первинних індикаторів психологічних коефіцієнтів для відеомоніторингу динаміки психологічних функціональних станів співробітників.

2. Розробити метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників для глибинного уточнення вагових значень первинних індикаторів психологічних коефіцієнтів з узгодженням модальностей.

3. Удосконалити параметрично-динамічну модель прогнозування часової динаміки психологічних станів для їх інтелектуального вимірювання у різних модальностях.

**Об’єктом дослідження** роботи є інформаційні процеси моніторингу показників психологічного стану співробітників державних та комерційних структур.

В якості **предмета дослідження** виступають методи, моделі, алгоритми та архітектурні рішення інтелектуального вимірювання і обробки показників



моніторингу психологічного стану співробітників з урахуванням темпоральної динаміки девіантних ознак та мультимодальної інтеграції цих показників.

### **Методи дослідження.**

Загальнонаукові методи: системний аналіз; аналіз і синтез; класифікація, узагальнення; порівняльний аналіз.

Емпіричні методи: вимірювання; натурний експеримент; імітаційний експеримент; експериментально-порівняльна валідація, статистична обробка результатів експерименту.

Спеціальні методи: нейромережеве моделювання; потокове інтервальне агрегування; психолінгвістичний аналіз; адаптивне мультимодальне узгодження даних; факторний аналіз; кореляційно-регресійний аналіз.

Методи проєктування інформаційних систем: архітектурне проєктування; проєктування модульної структури та інтеграції компонентів.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. *Вперше розроблено* метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану на основі компактної нейромережевої моделі та інтервального узгодження оцінок шляхом тригеризації глибинного дослідження за рахунок перманентного аналізу відеоряду, що дозволило забезпечити відстежування динаміки психологічних функціональних станів співробітників для формування первинних психологічних коефіцієнтів та підвищити ефективність відеомоніторингу психологічних показників.

2. *Вперше розроблено* двофазний метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників на основі вагового узгодження вимірювань у мовній та відеомодальностях за рахунок використання адаптивної ф'южн-моделі інтеграції психолінгвістичних показників, що дозволило виконувати глибинне уточнення вагових значень первинних індикаторів психологічних коефіцієнтів та підвищити точність вимірювання.

3. *Удосконалено* параметрично-динамічну модель прогнозування часової динаміки психологічних станів на основі використання кореляційно-регресійного аналізу за рахунок дворівневого підходу, що дозволило виконувати інтелектуальне

вимірювання психологічних показників у різних модальностях та дало можливість підвищити точність визначення психологічних коефіцієнтів і зменшити імовірність помилок 1-го та 2-го роду.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані в роботі результати, а саме розроблена технологія, методи, які є її складовими можуть бути використані для проєктування та реалізації інформаційних систем моніторингу та обробки інформації щодо психологічного стану співробітників державних та комерційних структур в режимі реального часу.

Практична цінність роботи полягає в доведенні здобувачем отриманих наукових результатів до алгоритмів і програм, придатних в інженерній практиці:

1. Розроблено алгоритмічне забезпечення модуля первинного відеомоніторингу психофункціональних індикаторів, що забезпечує потокову обробку відеоданих і формування базових показників для подальшого уточнення.

2. Розроблено алгоритмічне забезпечення модуля психолінгвістичного аналізу для глибинного уточнення результатів первинного моніторингу, що забезпечує мультимодальну інтеграцію результатів психолінгвістичного та відеоаналізу.

3. Розроблено інформаційну систему безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану, яка інтегрує модуль первинного скринінгу з модулем глибинного аналізу із забезпеченням модульності та масштабованості, яка доведена до практичного використання у якості окремого інформаційного контуру у складі корпоративної IT-інфраструктури з формуванням вихідних індикаторів для подальшого реагування.

4. Реалізовано архітектурні механізми етично коректної обробки даних в інформаційній системі безперервного моніторингу, що націлені на зниження ризиків приватності під час моніторингу персоналу.

Рекомендації щодо сфери практичного використання отриманих у дисертаційній роботі результатів:

1) у діяльності підприємств, установ та організацій державного і комерційного сектору – в цифрових контурах управління та HR-аналітики;

2) у підрозділах корпоративної інформаційної безпеки та службах управління ризиками – для підтримки цифровізації процесів превентивного реагування;

3) у державних органах та організаціях критичної інфраструктури – в інформаційно-аналітичних системах потокового збору і обробки інформації;

4) у науково-дослідних установах та лабораторних комплексах – в розробці, впровадженні та оцінці відповідності інформаційних систем та технологій;

5) у відомчих закладах вищої освіти Міністерства освіти і науки України – в освітньому процесі за освітніми програмами спеціальності “Інформаційні системи та технології”.

Практична цінність роботи підтверджена актами впровадження основних результатів дисертаційного дослідження: для підвищення ефективності систем відеоспостереження при використанні модуля первинного відеомоніторингу в ТОВ “СВІТ ЛАСОЩІВ” (Акт впровадження від 19.10.2023 р.); в навчальний процес Черкаського державного технологічного університету на кафедрі інформаційних технологій проектування при викладанні освітніх компонентів “Аналіз, моделювання та проектування архітектури інформаційних систем” та “Методології створення інформаційних систем” (Акт впровадження від 11.02.2026 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є самостійно виконаною завершеною працею здобувача. Наукові положення та практичні результати, що в ній містяться та виносяться на захист, отримані автором самостійно.

У друкованих працях, опублікованих у співавторстві автору належить: розробка методу інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану [59], розробка методу інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників в умовах безперервного моніторингу [71], структурно-функціональне представлення інформаційної системи, дворівнева архітектура, вдосконалена параметрично-динамічна модель інформаційної системи [81], психологічний базис прийняття рішень штучним інтелектом та формування двох алгоритмів потокового шифрування при передачі інформації: від відеоканалу до блоку опрацювання даних та від бази даних до блоку обробки [89], систематизовано критерії зіставлення інформаційних технологій та підготовлено висновки щодо доцільності їх

застосування у превентивному контурі реагування [53], систематизовано фактори, що ускладнюють практичне впровадження психодіагностичних інформаційних систем у конфліктному інформаційному середовищі, узагальнено вимоги до них [57], узагальнено роль безперервного збору даних у робочих процесах та підготовлено матеріали щодо інтеграції таких рішень в інтелектуальні системи моніторингу [79], сформульовано інформаційно-технологічні аспекти етичної обробки персональних даних у комбінованих системах віддаленого моніторингу та архітектурного вбудовування механізмів захисту [35].

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційного дослідження доповідались та розглядались на 5 міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях (включно із закордонними):

1. Десята Міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми інформатизації”, 24-25 листопада 2022 р., Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків.

2. I Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція “Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій”, 9 грудня 2022 р., м. Черкаси.

3. II Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція “Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій”, 6 грудня 2023 р., м. Черкаси.

4. X International Scientific and Practical Conference “Scientific Community: Interdisciplinary Research”, November 6-8, 2025, Hamburg, Germany.

5. VII International Scientific and Practical Conference “Science in the Environment of Rapid Changes”, December 26-28, 2025, Brussels, Belgium.

**Публікації.** Результати дослідження висвітлені в 9 наукових публікаціях, у тому числі 4 статтях [59, 71, 81, 89], з яких 3 опубліковані у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України (категорія “Б”) [59, 71, 81], 1 у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus [89], 5 тезах доповідей на вітчизняних міжнародних наукових конференціях [35, 47, 53, 57, 79] з яких 2, опублікованих у закордонних виданнях [35, 79] (Бельгія, Німеччина).

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 149 сторінках, з яких 114 сторінок основного тексту та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (налічує 94 джерела), 3 додатків та включає 20 рисунків і 7 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН І ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПЕРСОНАЛУ

#### **1.1 Передумови застосування інформаційних технологій моніторингу станів персоналу в державному та комерційному секторі**

Сучасні підприємства, установи та організації як державного, так і комерційного сектору перебувають на етапі цифрової трансформації процесів виробництва та управління. Впровадження інформаційних технологій до функціональних процесів організацій різних рівнів призводить до зростання обсягів інформації, яка обробляється інформаційними системами. Така ситуація ускладнює інформаційні потоки при їх цифровій обробці, що супроводжується накопиченням даних про діяльність підприємства та характеризується залежністю від його інформаційної інфраструктури та вимог до безперервності діяльності.

За описаних умов визначальним джерелом ризиків для підприємства виступає людський фактор. Реалізуються ризики у різних ситуаціях як отримання доступу співробітниками до корпоративних ресурсів чи виконання критичних операцій при взаємодії з інформаційними системами підприємства при виконанні своїх службових обов'язків. Завдання моніторингу поведінкових та функціональних показників співробітників з метою виявлення потенційно небезпечних відхилень є визначальним для попередження таких ризиків під час повсякденної діяльності персоналу як державних, так і приватних установ та організацій. У межах даної роботи під поведінковими та функціональними показниками розуміються прояви психофункціональних станів персоналу, які можуть бути виміряні інформаційними системами без втручання у виконання службових обов'язків персоналом.

Актуальність та вагомість таких задач підтверджуються сучасними аналітичними звітами в рамках питань зниження витрат на подолання наслідків інцидентів, пов'язаних з внутрішніми ризиками (інсайдерськими атаками).

За даними звіту Ponemon [1], середні річні витрати організацій на вирішення проблем, викликаних інсайдерськими атаками сягають значення в 17,4 млн доларів США. Середній час реагування становить 81 день. Дані отримані за результатами опитування більше 8300 фахівців, працюючих на посадах інженерів з інформаційних технологій та інформаційної безпеки. Проведене дослідження доводить, що при наявності традиційних технологій захисту організації вимушені витратити значні кошти на розслідування та подолання наслідків інсайдерських атак. Тривалість реагування на подібного роду інциденти посилює вагомість проблеми у ресурсному еквіваленті.

За даними звіту компанії IBM “Cost of a Data Breach Report 2024” [2] інсайдерські атаки мають одне з найвищих значень вартості проміж типових напрямків порушення безпеки, що в середньому становить близько 5 млн доларів США на інцидент. Така вартість зумовлює необхідність переходу реактивного підходу реагування на інциденти інсайдерських атак до підходу раннього виявлення та попередження умов, які передують виникненню інциденту.

Показники, що дозволяють оцінити загальний масштаб проблеми, пов’язаної з інсайдерськими інцидентами ілюструється на рисунку 1.1.

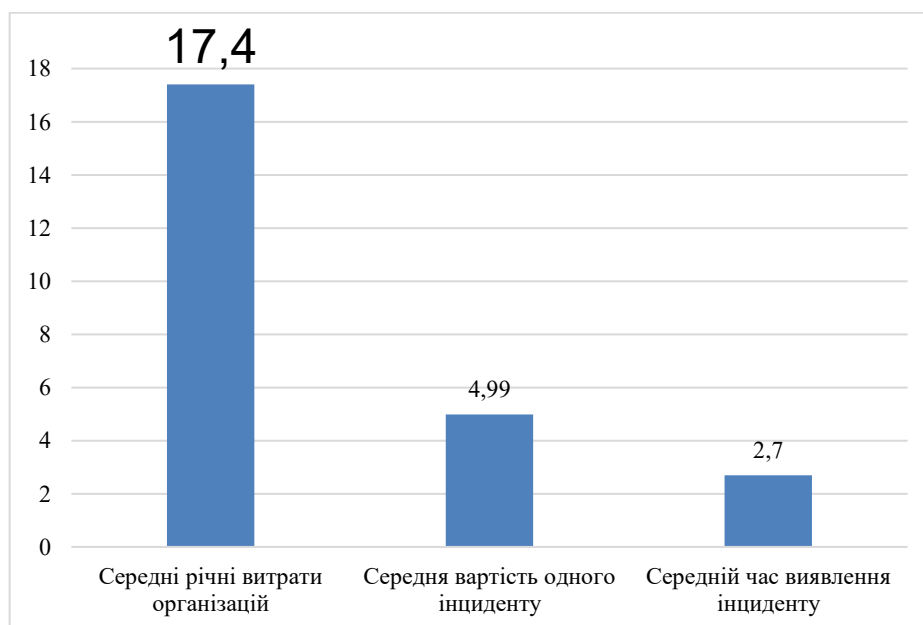


Рисунок 1.1 – Ілюстративна характеристика масштабу проблеми інсайдерських інцидентів на сучасних підприємствах

Наведені показники мають різну фізичну природу та одиниці вимірювання і подані виключно з метою ілюстрації масштабу проблеми. Рисунок має ілюстративний характер і не передбачає розгляд статистичних залежностей між наведеними показниками.

Ще більшу складність проблеми зумовлює розподіл причин інсайдерських атак. Причинити подібного роду інцидент може дія, яка не володіє характеристикою умислу. У роботі [3] показано, що загроза інсайдерських атак може бути спричинена поведінковими та психологічними факторами. Перші прояви ознак загрози, яка спричинена подібними факторами можливо визначити ще до настання інциденту. Факт можливості раннього виявлення дозволяє виконати відповідні превентивні дії по його уникненню. Автори у роботі [3] обґрунтовують доцільність використання інформаційних моделей, що враховують особливості динамічних характеристик психологічних станів та мовно-поведінкових патернів як інструменту раннього виявлення ризиків. Подібні роботи формують загальну структуру інформаційних процесів інтелектуального моніторингу. Саме виміряні показники психофункціональних станів персоналу є джерелом даних для обробки в інформаційних системах інтелектуального моніторингу.

Системний характер розглянутої проблеми підтверджується аналітичними науковими працями, присвяченими питанням класифікації та дослідження загроз, зумовлених внутрішніми факторами діяльності персоналу. У роботі [4] запропоновано узагальнений підхід дослідження інсайдерських атак. Даний підхід ураховує варіативність причин виникнення загрози інсайдерських атак, в тому числі психологічні стани. Автори наголошують на вагомості раннього виявлення змін функціонального стану персоналу для вирішення задачі ефективної протидії. Фіксація факту реалізації інциденту не є достатнім для ефективної протидії. Висунуті авторами положення дозволяють сформулювати необхідність застосування інформаційних технологій моніторингу психологічного стану особового складу.

Аналітичні звіти, сформовані на основі опитування професійної спільноти також доводять зростання уваги до ризиків, спричинених внутрішніми факторами. Так, в “Insider Threat Report 2024” [5], сформованому за результатами опитування



понад 400 фахівців доводиться, що більшість підприємств, установ та організацій розглядають інсайдерські атаки як одну з найбільш складних для виявлення категорій загроз. Така загроза потребує застосування комплексних технологічних рішень замість ізольованих засобів контролю та діагностики.

Актуальність задачі інформаційного моніторингу психологічного стану персоналу опосередковано доводиться динамікою розвитку ринку інформаційних технологій. Прогноз Future Market Insights [6] визначає зростання обсягу світового ринку засобів протидії загрозам інсайдерських атак з 5711 млн доларів США до 30144,7 млн доларів США у 2035 році. Середньорічний темп зростання лежить в межах 17,7%.

Загальна динаміка зростання світового ринку інформаційних технологій попередження ризиків інсайдерських атак зображена на рисунку 1.2.

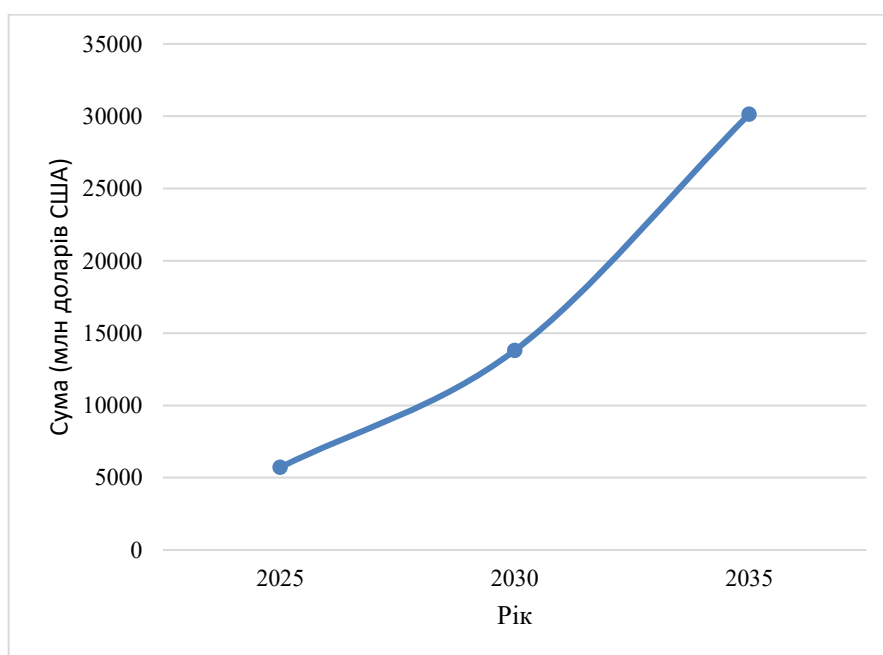


Рисунок 1.2 – Ілюстративна динаміка розвитку світового ринку інформаційних систем протидії ризикам інсайдерських атак

На основі даних, висвітлених у підрозділі формуються ключові передумови застосування інформаційних технологій моніторингу психологічного стану персоналу:

- 1) необхідність зменшення часу виявлення інциденту інсайдерської атаки, що впливає на зменшення масштабу збитків підприємства;
- 2) наявність різномірних джерел даних, які виступають раннім індикатором змін психологічних та функціональних показників персоналу;
- 3) потреба адаптивної інтелектуальної обробки даних з урахуванням індивідуальних особливостей кожного співробітника;
- 4) вимоги до автоматизації процесів аналізу великих обсягів даних.

На рисунку 1.3 наведено узагальнену причинно-наслідкову схему передумов застосування інформаційних технологій моніторингу станів персоналу.



Рисунок 1.3 – Узагальнена схема сформованих передумов.

Дана схема ілюструє взаємозв'язок між цифровізацією організаційних процесів, людським фактором та вимогами до сучасних інформаційних систем моніторингу психологічних станів.

Сформовані чинники визначають основні вимоги до технологій моніторингу психологічного стану персоналу, які пов'язані з процесами збору, обробки та інтеграції даних про психологічні стани особового складу.

## **1.2 Сучасні інформаційні технології моніторингу психологічного стану персоналу**

### **1.2.1 Аналіз методів інформаційного моніторингу психологічного стану персоналу**

Моніторинг психологічного стану особового складу, спричинений потребою діджиталізації організаційних процесів на підприємствах, передбачає використання формалізованих методів одержання та обробки інформації про психофункціональні стани. Під узагальненим терміном “психологічний стан” у рамках розгляду теми роботи мається на увазі сукупність показників, що характеризують психоемоційні та психофункціональні прояви, що фіксуються та обробляються інформаційною системою. Таке трактування узгоджується з положеннями сучасних вітчизняних досліджень [7] у сфері моніторингу психофізіологічних функцій операторів, де обґрунтовуються показники та підходи до оцінювання психофізіологічних станів у трудовій діяльності. У межах дисертаційного дослідження моніторинг психологічного стану розглядається не як клінічна діагностика, а як автоматизоване спостереження за робочими психофункціональними і поведінковими індикаторами.

У сучасних дослідженнях методи отримання та інтерпретації даних про психологічний стан персоналу передбачають виконання різних задач: збір, аналіз, обробка чи збереження даних в автоматизованому чи автоматичному вигляді. Саме методи інформаційного моніторингу психологічного стану визначають можливість та шляхи інтеграції результатів обробки психологічних показників у корпоративні інформаційні системи. Організаційні аспекти використання даних методів у корпоративному середовищі відображено у дослідженнях, присвячених питанням цифровізації процесів оцінювання особового складу [8]. Характеристики цих методів впливають на точність, адаптивність та безперервність процесу моніторингу персоналу.

Аналіз сучасних та класичних наукових джерел дозволив класифікувати методи інформаційного моніторингу психологічного стану персоналу за джерелом

даних, частотою вимірювань психологічних показників та рівнем обробки параметрів. В рамках роботи було розглянуто наступні класи методів: методи психологічного тестування, методи відеомоніторингу психологічних станів, психолінгвістичні методи моніторингу, мультимодальні та гібридні методи. Аналіз робіт [9, 10], присвячених цифровим платформам психодіагностики персоналу показує практику переміщення процедур тестування у веб-середовище та тенденції до стандартизації процедур збору та обробки результатів.

Методи психологічного тестування використовують в своїй основі стандартизовані психологічні шкали та опитувальники з метою оцінювання психологічних параметрів окремої особи. Такий клас методів часто використовується у психологічних дослідженнях та діагностиці. Рівень формалізації цих методів дозволяє автоматизувати процедуру тестування та первинну обробку результатів. Так, у роботі [11] розглядається можливість використання цифрових платформ для нейропсихологічного тестування. Вітчизняні наукові джерела [10] підкреслюють вагому роль автоматизованого збору, обробки та збереження результатів для отримання можливості віддаленого проведення процедур тестування з використанням цифрових інструментів психодіагностики. Перевагою такого класу методів є можливість підвищити швидкість та об'єктивність досліджень, виключивши суб'єктивний фактор оператора тестування. Подальшого розвитку набуває тестування на основі інтелектуальних технологій з використанням великих мовних моделей (Large Language Model – LLM), що продемонстровано у роботі [12].

Основним і найбільшим обмеженням такого класу методів залишається дискретна природа психологічного тестування, що характеризується ітеративним принципом моніторингу та потребує активної участі персоналу в періодичних опитуваннях та унеможливорює використання характеристики безперервності. У вітчизняних працях [13], присвячених технологіям оцінювання персоналу наголошується на сесійній природі оцінювання, що доводить такі обмеження при вирішенні задач довготривалого моніторингу. Такий стан розглянутого класу методів унеможливорює потоковий моніторинг, що ускладнює раннє виявлення девіацій психологічного стану персоналу в реальному часі.

Методи відеомоніторингу психологічних станів варто виділити в окремий клас методів, які використовують відеодані в якості джерела інформації про зовнішні функціональні прояви психологічного стану персоналу. Такі методи ґрунтуються на використанні комп'ютерного зору та машинного навчання для автоматизованого виявлення змін у невербальних ознаках психологічного стану персоналу. У якості невербальних ознак розглядаються рухи чи позиції тіла, жести та міміка.

У міжнародній практиці, підтвердженій роботою [14] розглянуто можливість застосування методів відеоаналітики на прикладі виявлення девіацій поведінки в інтелектуальних системах спостережень, хоча і є потреба використання додаткових моделей інтерпретації в задачах психодіагностики. Вітчизняні технічні дослідження [15] підтверджують потенціал практичного використання відеоспостереження та відеоаналітики в напрямку аналізу рухів та використання отриманих даних як джерела поведінкових ознак. Методи визначення емоцій за мікрорухами обличчя розглядаються у роботі [16]. У даному контексті короточасні емоційні реакції розглядаються в процесі автоматизованого виявлення змін психофункціональних показників. У роботі [17] в якості джерела даних для аналізу психоемоційного стану використовується інформація про розташування та рухи частин тіла.

Основною перевагою цього класу методів є можливість пасивного збору інформації про психологічні стани персоналу, на відміну від методів психологічного тестування. Обмеженням методів відеомоніторингу є фіксація окремих реакцій чи коротких епізодів поведінки. Відзначаються обмежені можливості для інтерпретації довготривалої динаміки зміни психологічних станів за функціональною ознакою.

Клас психолінгвістичних методів спрямований на дослідження природомовної інформації у текстовому чи аудіоформаті. Такі дані при використанні цього класу методів розглядаються як відображення емоційних та когнітивних процесів, що вказують на характеристики психологічних станів. Сучасні інформаційні технології при реалізації даного класу методів найбільш широко використовують обробку природомовної інформації та векторні подання тексту. У вітчизняних психолінгвістичних дослідженнях [18] підкреслюється вагомість природомовних маркерів для непрямой ідентифікації когнітивних та емоційних станів.

У роботі [19] відображено можливість прогнозування характерних рис особи на основі аналізу текстових даних з використанням LLM. У роботі [20] розглядається аналіз динаміки психоемоційних станів з урахуванням характеристики часу. У роботі [21] проводиться огляд та узагальнення психолінгвістичних підходів за ознакою їх поєднання з методами машинного навчання, що характеризує інтелектуальну складову методів подібного класу.

Психолінгвістичні методи відрізняються від інших класів можливістю непрямого оцінювання когнітивно-емоційних проявів за мовними ознаками. Обмеженням таких методів робота лише з природомовними даними, що характеризує їх як одномодальними. Така характеристика впливає на стійкість результатів у задачах потокового (безперервного) моніторингу.

Сучасні дослідження спрямовані на використання мультимодальних (з використанням декількох каналів різнорідних вхідних даних про психологічний стан персоналу) та гібридних методів. Інтеграція різних підходів до отримання і обробки даних дозволяє компенсувати окремі обмеження інших класів методів.

Широкі напрацювання у цьому напрямку сформовані у міжнародному науковому просторі. У роботі [22] для вирішення задачі психоемоційного аналізу пропонується об'єднання мовних та акустичних ознак. У роботі [23] проводиться систематичний огляд мультимодального пасивного моніторингу психологічного стану. В цій роботі підкреслюється відсутність універсальної моделі а також потреба адаптивного узгодження каналів отримання даних спостереження. Робота [24] присвячена розгляду альтернативних джерел інформації про психофізіологічні стани та проблемам їх інтеграції. У фундаментальній роботі [25] сформовано теоретичні основи мультимодального аналізу емоційних станів.

Вітчизняні наукові джерела [26, 27] підтримують міжнародний напрям у частині контролю психофізіологічного стану людини-оператора та системного врахування людського фактору, що є суміжною основою для інтеграції психофізіологічних і поведінкових показників у моніторингових рішеннях.

З точки зору методів безперервного моніторингу психологічних станів важливо використання гібридних методів. Такі методи дозволяють поєднати первинний моніторинг зовнішніх ознак з подальшим уточнюючим аналізом даних.

Жоден з розглянутих класів методів не забезпечує повного набору характеристик, важливих та необхідних для виконання задач безперервного інформаційного моніторингу психологічного стану персоналу. Методи психологічного тестування є високо формалізованими, але не забезпечують безперервності. Методи відеомоніторингу дозволяють отримувати дані у пасивному режимі, але мають обмежену глибину інтерпретації. Методи психолінгвістичного аналізу забезпечують глибинне непряме оцінювання когнітивно-емоційних проявів за мовними маркерами, але є одномодальними. Важливим є розробка та використання мультимодальних гібридних методів для інтеграції різних джерел даних та реалізації технології безперервного моніторингу психологічних станів персоналу. Важливим етапом є аналіз засобів, відповідних інформаційних систем, які новітніми чи вже використовуються на підприємствах як приклад реалізації окремих класів методів. Безперервний моніторинг передбачає оновлення індикаторів із заданим інтервалом для забезпечення оперативного реагування на зміни. Результати моніторингу потребують підтримки накопичення темпоральних показників та можливість адаптивного переналаштування моделі у процесі експлуатації.

### **1.2.2 Аналіз інформаційних засобів моніторингу психологічного стану персоналу**

Методи інформаційного моніторингу психологічного стану персоналу реалізуються у вигляді відповідних засобів: інформаційних систем, в тому числі спеціалізованих, програмно-апаратних комплексів, платформ обробки даних. Роботи міжнародного рівня [22, 23] присвячені цифровізації психологічного моніторингу. Аналіз цих робіт доводить, що подібні інформаційні системи визначають архітектурні, функціональні та технологічні особливості застосування цих систем

при їх інтеграції у корпоративному середовищі. Визначений міжнародний напрям підтримується вітчизняними роботами [28, 29] за напрямком проектування моніторингових інформаційних систем та інформаційних моделей. Аналіз доводить вагому роль структурної організації потоків даних і модульної побудови систем, що критично впливає на можливість інтеграції подібних систем у корпоративному середовищі.

У пункті 1.2.1 було розглянуто методи і визначено принципи отримання та інтерпретації психологічних показників. На відміну від розглянутих методів, інформаційні засоби психологічного аналізу дозволяють простежити механізми та способи організації збору даних, їх обробки, інтеграції та використання у складі корпоративних систем, націлених на виконання інших завдань в процесі діджиталізації інформаційних процесів підприємства. У роботі [3] наголошується на впливі архітектури інформаційної системи та підтримки мультимодальності на ефективність застосування психологічного моніторингу персоналу підприємств.

У рамках розгляду інформаційних засобів моніторингу психологічного стану на відміну від методів, увага акцентується на архітектурі систем, організації потоків даних, режимах обробки інформації, можливостях інтеграції з іншими корпоративними інформаційними системами а також на питаннях масштабування. Подібна структура аналізу інформаційних систем була обрана на основі аналізу джерел [30, 31].

Дослідження інформаційних засобів моніторингу психологічного стану ґрунтується на класифікації методів. Обмеження методичного рівня для різних класів методів, визначені в пункті 1.2.1 розглядаються на рівні практичної реалізації і проявляються у вигляді системних та архітектурних особливостей цих засобів. Відповідно до роботи [32] архітектура інформаційної системи визначає можливості використання методів психологічного моніторингу при виконанні умов безперервності процесу.

Інформаційні системи, які реалізують клас методів автоматизованої психологічної діагностики у переважній більшості випадків реалізовані у вигляді спеціалізованих програмних платформ або веборієнтованих рішень. У роботі [11]



було розглянуто роботи нейропсихологічного тестування. Архітектура подібних платформ базується на клієнт-серверній моделі з централізованим збереженням даних.

Подібні інформаційні системи характеризуються сесійним режимом роботи за ітеративним принципом. Такий режим роботи передбачає ініціювання процесу збору інформації саме користувачем у визначені моменти часу. Обробка результатів здійснюється на основі передачі пакетів після завершення процедури тестування. Такий системний підхід дозволяє реалізацію алгоритмів тестування, але обмежує можливості інтеграції процесів тестування в потокові інформаційні процеси, як зазначається у роботі [12].

З архітектурної точки зору обробки даних такі системи орієнтовані на роботу з однорідними структурованими даними. Такий підхід обробки полегшує масштабування бази даних при ускладненні інтеграції з іншими джерелами отримання даних та реалізації багаторівневої аналітичної моделі.

Інформаційні системи, які реалізують клас методів відеомоніторингу психологічних станів базуються на автоматизованому аналізі відеопотоків. У роботі [14] наведено приклади інтелектуальних систем відеоспостереження на основі використання підходу конвеєрної обробки відеоданих з метою виявлення поведінкових девіацій. Архітектура подібних систем передбачає наявність окремих модулів для захоплення відеоряду, попереднього опрацювання відеоданих, аналітичні компоненти та систему збереження результатів обробки. У роботі [16] показано, що для ефективної роботи таких систем важлива підтримка потокової обробки даних, які надходять з високою інтенсивністю за умов використання розподілених обчислювальних потужностей.

У рамках інтеграції в корпоративних інформаційних комплексах, системи відеомоніторингу часто використовують у якості автономних підсистем, результати роботи яких зберігаються та передаються у вигляді узагальнених показників. Подібний підхід дозволяє спростити інтеграцію при обмеженні можливості повторного використання у багаторівневих аналітичних процесах [14]. Системні проблеми впровадження подібних засобів у корпоративному середовищі, в тому

числі якості і повнота журналів подій, хибні спрацювання, складності масштабування та ризики приватності узагальнено в роботі [33].

Інформаційні системи, що реалізують клас психолінгвістичних методів ґрунтуються на аналізі семантичних мовних та когнітивних ознак, виділених із природомовного тексту. Робота [21] доводить можливість застосування такого підходу в процесі визначення психологічних характеристик особи за результатами аналізу природомовного тексту.

Архітектура таких систем передбачає багатоступеневу обробку інформації, виходячи із морфологічного, лексики-синтаксичного, семантичного та когнітивного рівнів аналізу тексту. Обробка даних на системному рівні включає як попередню обробку, так і векторизацію чи аналітичні дії.

Окремо варто відзначити UEBA- та DLP-орієнтовані інформаційні системи, які використовуються як аналітичні засоби в корпоративному секторі. Такі системи становлять окремий клас інформаційних засобів аналізу поведінки персоналу (User and Entity Behavior Analytics – UEBA) та засоби запобігання витоку даних (Data Loss Prevention – DLP). У роботі [31] наведено приклади подібних інформаційних засобів. Архітектура таких систем орієнтована на агрегацію подій на основі аналізу різних корпоративних джерел інформації та подальший кореляційний аналіз зібраних даних.

Даний клас інформаційних засобів не націлений на безпосередній психологічний аналіз. Психологічні характеристики опосередковано аналізуються за рахунок поведінкових патернів і характеризуються високою інтегрованістю до ІТ-інфраструктури підприємства при обмежених можливостях глибинного аналізу психологічних станів персоналу [32].

Інтегровані та гібридні інформаційні системи реалізують багаторівневі архітектури обробки інформації. У роботі [23] підкреслюється, що саме подібні системи є найбільш вдалим рішенням при їх застосуванні до задач безперервного моніторингу психологічних станів.

Архітектура гібридних інформаційних систем дозволяє поєднати потокову та пакетну обробку даних на основі модульного принципу побудови. Варто наголосити

відсутності універсальних архітектурних рішень для інтеграції різноманітних психологічних даних, як зазначається у роботі [22].

Класифікація технологій моніторингу психологічного стану персоналу наводиться на рисунку 1.4.

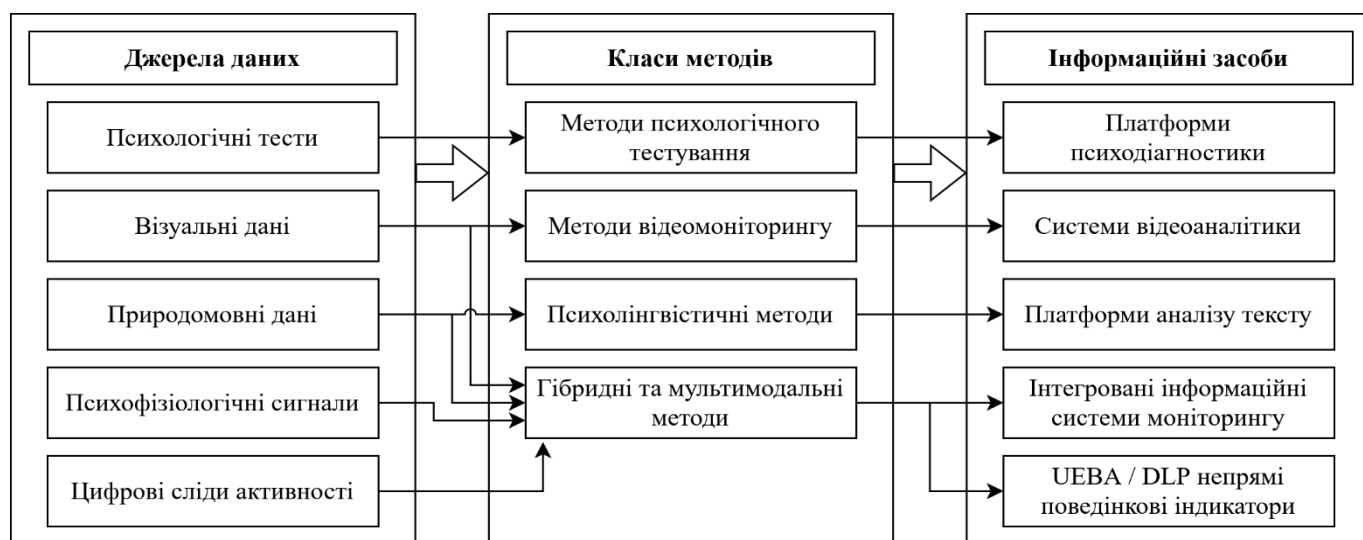


Рисунок 1.4 – Класифікація методів та засобів моніторингу психологічного стану персоналу

Класифікація технологій моніторингу психологічного стану персоналу відображає відповідність між основними джерелами даних, класами методів їх обробки та типовими інформаційними засобами реалізації. Показано, що одноmodalні методи базуються на різних каналах спостереження, тоді як гібридні та мультимодальні підходи інтегрують декілька джерел даних для забезпечення безперервності оцінювання. Окремо виділено UEBA/DLP-рішення як засоби формування непрямих поведінкових індикаторів, які доповнюють психологічний аналіз у корпоративному середовищі.

Незважаючи на різноманіття інформаційних засобів, які можуть бути застосовані на різних рівнях безперервного психологічного моніторингу, їх практичне використання характеризується рядом системних обмежень. З аналізу робіт [22, 23] випливає відсутність механізмів адаптивного інтелектуального уточнення параметрів аналізу, зокрема динамічного коригування вагових

коефіцієнтів психологічних показників відповідно до індивідуальних психологічних особливостей індивіда та характерних йому функціональних станів.

До інших обмежень варто віднести пакетний режим обробки, відсутність багаторівневої аналітики, слабку інтеграцію з корпоративними інформаційними системами та складність масштабування. Вітчизняні роботи [34], що присвячені моніторинговим системам у режимі реального часу, акцентують увагу на проблемах точності, затримки обробки подій, ресурсних витрат під час масштабування, а також на необхідності застосування потокових механізмів обробки даних. Узагальнення обмежень наводиться у роботах [30, 31].

Визначені обмеження впливають на фактори ефективності використання існуючих засобів у задачах безперервного моніторингу психологічного стану персоналу та зумовлює потребу розробки нових архітектурних рішень.

### **1.3 Архітектурні та етичні вимоги до інформаційних систем моніторингу психологічного стану**

Архітектурні обмеження існуючих систем не є вичерпними з точки зору застосування інформаційних технологій до задач безперервного моніторингу психологічного стану особового складу. Такі системи оброблюють чутливі персональні дані, які в залежності від типу вимірювальної інформації про особу можуть включати біометричні, поведінкові, психофізіологічні фактори. Оброблювані дані входять до категорії інформації з підвищеною чутливістю з точки зору приватності та етичності їх вимірювання, обробки та збереження. У даному випадку це питання відноситься до архітектурного рішення, яке повинно бути враховано на етапі проектування як вимога до архітектури інформаційної системи моніторингу. На відміну від традиційних технологічних рішень чи інформаційних систем, де питання етики часто є процедурним, організаційним чи вирішується шляхом впровадження необхідних політик доступу, засоби відеомоніторингу потребують архітектурних механізмів забезпечення етичної обробки

психофізіологічних даних. На архітектурному рівні з'являється можливість регулювати глибину, інтенсивність та контекст оброблюваної інформації.

Основні інформаційно-технологічні аспекти етичної обробки персональних даних в комбінованих системах віддаленого моніторингу було розглянуто в роботі [35]. Акцентовано увагу на архітектурних рішеннях та вимогах щодо дотримання етичних норм в подібних інформаційних системах. Існуючі дослідження [36, 37] підтверджують неможливість дотримання етичних вимог виключно на рівні експлуатації без внесення структурних змін у саму систему.

Дослідження робіт, які присвячені нормуванню аналізу біометричних та психофізіологічних даних [38, 39] вказує на підвищену чутливість таких даних та вимагає закладати архітектурні обмеження ще на етапі проєктування системи. Неконтрольована обробка таких даних призводить до значних етичних ризиків. Дослідження [40] у сфері моніторингу стану здоров'я особи підкреслює ризики надмірного збору та вторинного використання інформації про поведінку особи. У контексті виконання задачі безперервного психологічного моніторингу порушується принцип пропорційності між метою моніторингу та ступенем втручання у приватне життя.

Існуючі нормативно-правові акти та рекомендації, в тому числі сучасні підходи, ґрунтовані на принципах приватність за задумом (privacy-by-design) [41] та етика за задумом (ethics-by-design) формують вимоги до обробки інформації але не завжди формалізуються у вигляді чітких архітектурних рішень. На основі роботи [42] можна сформулювати роль архітектури інформаційної системи. Архітектура визначає можливості для селективного збору даних, глибину аналітичної обробки, тривалість зберігання результатів та рівень агрегації чи анонімізації інформації. Етичні вимоги до систем моніторингу психологічного стану формуються через архітектурні принципи, які обмежують невідповідне використання даних на етапі проєктування системи.

Сформовано наступні архітектурні вимоги, дотримання яких є необхідною умовою етичної роботи інформаційної системи безперервного психологічного моніторингу. До таких вимог належить мінімізація даних, що передбачає обробку

лише параметрів, необхідних для виконання задачі. Роботи [41, 43] доводять зниження етичних ризиків через використання переходу від збереження первинних сигналів до вторинних параметрів та індикаторів. До вимог належить дотримання селективності та багаторівневого аналізу. За таких умов більш глибокі методи аналізу застосовуються лише при наявності підстав, визначених на етапі первинного скринінгу. Ця вимога сформована на основі рекомендацій у дослідженнях, присвячених етичному застосуванню інтелектуальних систем у робочому середовищі [44]. Наступною вимогою є псевдонімізація та агрегування результатів. Дотримання цієї вимоги унеможливорює пов'язування аналітичних висновків з окремою особою без процедур доступу. Дана вимога ґрунтується на підходах приватності за задумом до проєктування архітектур обробки персональних даних та інженерних практиках забезпечення приватності на рівні даних [39, 45].

Дотримання основних архітектурних вимог формує можливість дотримання етичних вимог через внутрішні структурні обмеження інформаційної системи, що визначає спосіб організації потоків даних, рівні аналітичної обробки та механізми інтерпретації результатів. Аналіз наукових джерел показав відсутність подібних обмежень архітектурного рівня для інтелектуальних систем моніторингу, що ускладнює впровадження подібних інформаційних технологій в корпоративному секторі [46]. Сформульовані обмеження та вимоги архітектурного рівня до інформаційних систем безперервного моніторингу формують основу для подальшого дослідження обмежень існуючих інтелектуальних систем безперервного моніторингу.

#### **1.4 Обмеження та проблеми існуючих підходів до інтелектуального моніторингу психологічного стану персоналу**

Інтелектуальна складова інформаційних систем моніторингу психологічного стану сприяє ранньому виявленню девіантної поведінки персоналу, пов'язаної з психоемоційними та психофункціональними змінами. Автоматизація процесів моніторингу психологічних показників співробітників державних та комерційних

структур ґрунтується на використанні методів машинного навчання, автоматизованого аналізу відеоданих чи обробки природомовної інформації як механізм формування системи показників для подальшої обробки співробітником служби безпеки підприємства. Прикладні аспекти використання методів комп'ютерної лінгвістики у задачах психодіагностики розглянуто у роботі [47]. Аналіз сучасних досліджень та наукових публікацій свідчить про наявність фундаментальних обмежень інтелектуальних підходів. Ці обмеження впливають на точність, надійність, довіру до результатів та можливість практичної імплементації інтелектуальних систем у процесі безперервного моніторингу.

До найбільш вагомих проблем інтелектуальних систем психологічного моніторингу відноситься обмеженість однорівневих моделей аналізу. При застосуванні такої моделі процес інтелектуальної обробки функціонує в рамках формування оцінки психологічного стану на основі однієї модальності даних або одного класу ознак. Відповідно до роботи [25] відзначається чутливість інтелектуального моніторингу до шумів, контекстуальних змін та індивідуальних особливостей особи. У результаті спостерігається нестабільність результатів при довготривалому використанні подібних систем. Достовірність результатів знижується внаслідок відсутності механізмів уточнення результатів аналізу з урахуванням динаміки психофункціональних станів за темпоральною характеристикою їх змін. Причиною цього, як правило, є використання одноразово навченої моделі без механізмів контекстної нормалізації та індивідуальної калібровки, що спричиняє дрейф розподілу ознак при зміні умов спостереження.

Суттєвим обмеженням інтелектуальних систем моніторингу виступає статичний характер параметрів інтелектуальної моделі. Проявляється обмеження у фіксованих вагових коефіцієнтах ознак та показників. Аналіз робіт [48, 49] доводить, що психологічні стани характеризуються контекстною залежністю та індивідуальною варіативністю. Статичний підхід формування вагових коефіцієнтів у процесі аналізу призводить до критичного накопичення помилок та зростання помилок першого та другого роду, за яких спостерігаються хибні спрацювання або пропуск важливих змін психологічних станів персоналу. На практиці це зумовлено

фіксацією ваг після навчання на усередненій вибірці та відсутністю механізмів оновлення параметрів під конкретну особу і контекст.

Ще одне критичне обмеження інтелектуальних підходів проявляється в існуючих механізмах динамічного узгодження різнорідних джерел даних. Мультимодальні системи, які поєднують відеодані, природомовну інформацію, поведінкові чи контекстні параметри в переважній більшості використовують прості схеми агрегації або раннього злиття ознак. Відповідно до роботи [50], такі підходи не враховують варіацію інформативності каналів спостереження, що визначається індивідуальними особливостями особи, умовами навколишнього середовища та режиму роботи персоналу. Потенціал мультимодальності за таких умов не розкритий у повній мірі. Типовою причиною є застосування раннього злиття або простого усереднення ознак без механізмів динамічного відстеження, які змінюють внесок каналів у часі.

До категорій обмежень також доцільно віднести проблеми інтерпретованості інтелектуальних моделей. Відповідно до наведених у роботі [51] положень архітектура нейромережі, застосована для психологічного аналізу часто функціонує за закритим принципом. Дане обмеження ускладнює пояснення причин сформованих системою висновків, що суперечить вимогам до прозорості механізмів та етичної коректності роботи інформаційних систем.

До суттєвих обмежень належить подієвий або реактивний аналіз у більшості інтелектуальних систем. Згідно з роботою [52] існуючі рішення фіксують психофункціональні девіації як результат і не розглядають їх первинні ознаки та причини. Така властивість накладає обмеження на використання подібних систем у якості превентивного засобу та ускладнює прогнозування причин зміни психологічного стану. Потреба у превентивних підходах підтверджується в [53].

Додатковою проблемою існуючих інтелектуальних систем є обмежена адаптивність за темпоральною ознакою. Психологічні характеристики володіють темпоральною варіативністю в залежності від навантаження під час виконання службових обов'язків, індивідуальних особливостей, зовнішніх та внутрішніх факторів впливу. Згідно роботи [54] темпоральна деградація результатів



моніторингу зумовлена зміною статистичних властивостей даних у часі, що потребує виявлення дрейфу та адаптації моделей/ваг в процесі експлуатації. Проявляється у якості зміни базових рівнів індикаторів у межах однієї особи, що спричиняє потребу в процедурах контролю дрейфу та переналаштування ваг.

Не менш важливою за інші в рамках задач дисертаційного дослідження є проблема узгодження інтелектуального аналізу з архітектурними та етичними вимогами до систем моніторингу. Згідно робіт [55, 56], етичні принципи та вимоги довіри до штучного інтелекту як приватність, прозорість чи підзвітність мають бути відображені на рівні архітектури та життєвого циклу системи. На практиці часто проєктують інтелектуальні компоненти ізольовано від загальної архітектури. Дане обмеження призводить до ускладнення врахування вимог мінімізації даних, розмежування доступу та контролю за використанням результатів моніторингу. В результаті ускладнюється і саме впровадження таких систем в державному та корпоративному секторі. Проблеми практичного застосування психодіагностичних інформаційних систем у складних умовах розглянуто у роботі [57].

Логіку взаємозв'язку між обмеженнями існуючих інтелектуальних підходів та їх наслідками для задач безперервного моніторингу представлено на рисунку 1.5.

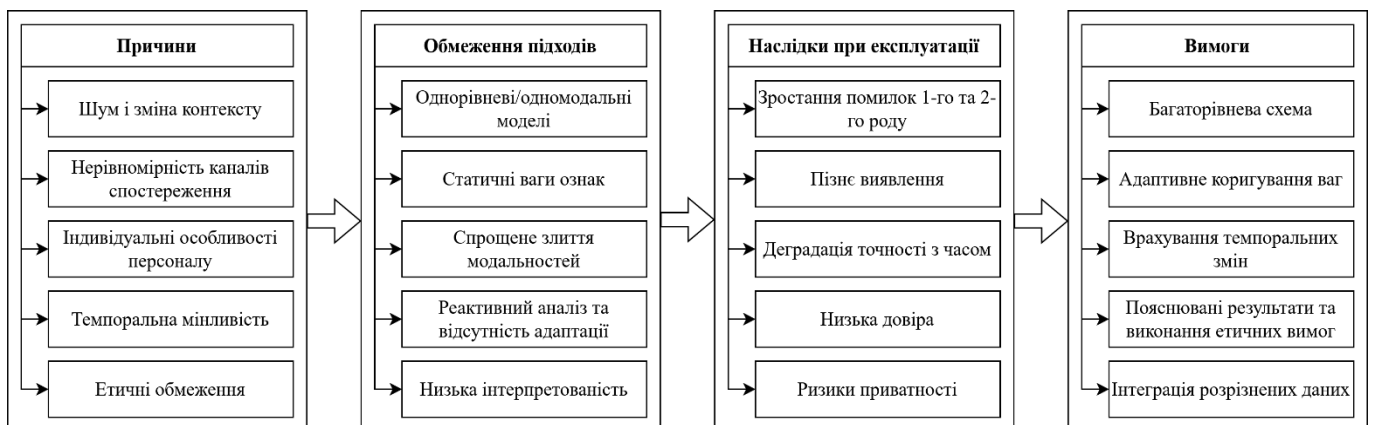


Рисунок 1.5 – Логічна схема обмежень існуючих інтелектуальних підходів моніторингу психологічного стану

Визначені обмеження формують передумови до розробки нових підходів до організації інтелектуального моніторингу психологічного стану персоналу.

Сформульовані обмеження дозволяють обґрунтувати науково-практичну задачу дисертаційного дослідження.

Аналіз проблем та обмежень існуючих підходів інтелектуального моніторингу психологічного стану персоналу показав проблему одночасного виконання вимог до точності, адаптивності та інтерпретованості результатів моніторингу в умовах безперервності процесу. Подолання наявних обмежень передбачає перехід до багаторівневих архітектур інтелектуальних систем моніторингу з можливістю уточнення первинних девіантних ознак та можливістю адаптивного коригування вагових коефіцієнтів.

### **1.5 Постановка задачі дослідження**

Аналіз передумов застосування інформаційних технологій моніторингу психологічного стану, дослідження складових таких технологій за результатами декомпозиції їх компонентів, аналіз етико-архітектурних вимог до інформаційних систем та обмежень існуючих інтелектуальних підходів дозволив визначити невирішену наукову задачу. Згідно результатів аналізу, наявні методи, засоби та інтелектуальні підходи не можуть забезпечити одночасно виконання вимог до точності, адаптивності, інтерпретованості та безперервності функціонування систем моніторингу психологічного стану в корпоративному середовищі. Виявлена невирішена задача зумовлена як методичними, так і архітектурними факторами.

Обмеження інтелектуальних підходів безперервного моніторингу призводить до зниження точності результатів та до зростання помилок першого та другого роду, що впливає на можливості використання таких інформаційних систем у задачах превентивного аналізу із урахуванням динаміки змін психологічних показників.

Наявні науково-технічні рішення потребують розробки нових методів та засобів для створення інтелектуальної технології моніторингу психологічного стану персоналу, яка ґрунтується на принципі багаторівневої організації процесу аналізу з можливістю адаптивного уточнення вагових коефіцієнтів психологічних показників, враховуючи при цьому етичні вимоги до архітектури системи.

Науково-практична задача полягає у підвищенні точності і забезпеченні адаптивності та інтерпретованості результатів безперервного моніторингу психологічного стану персоналу державних та комерційних структур шляхом розробки інформаційної технології безперервного інтелектуального моніторингу за рахунок методів первинного аналізу психофункціональних ознак та адаптивного уточнення вагових коефіцієнтів психологічних показників, на основі яких функціонує інтегрована інформаційна система.

Вирішення науково-практичної задачі передбачає розробку методу інтелектуального відеомоніторингу первинних психофункціональних ознак психологічного стану персоналу, який забезпечує збір та формування первинних показників для подальшого уточнюючого аналізу; розробку методу інтелектуального психолінгвістичного аналізу психологічних станів для уточнення первинних показників та адаптивного коригування їх вагових коефіцієнтів; розробку інформаційної системи безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану персоналу, яка дозволяє інтегрувати ці методи за двоетапною архітектурою з урахування архітектурних та етичних вимог.

Сформована науково-практична задача та її декомпозиція на окремі складові визначає логіку дисертаційної роботи та її структурні характеристики.

## **1.6 Висновки до розділу 1**

Таким чином, у першому розділі роботи виконано системний аналіз передумов та потреби використання інформаційних технологій моніторингу психологічного стану персоналу в державному та комерційному секторі. Досліджено методи, засоби та інтелектуальні підходи, в результаті чого виявлено та обґрунтовано невирішену науково-практичну задачу.

1. На основі аналізу сучасних аналітичних звітів та прогнозів щодо загроз інсайдерських атак встановлено потребу в превентивних технологіях моніторингу для раннього виявлення девіацій психофункціональних станів персоналу. Доведено актуальність інформаційного моніторингу персоналу в умовах цифровізації

організаційних процесів. Описано передумови застосування подібних інформаційних технологій для вирішення задач моніторингу.

2. Аналіз методів інформаційного моніторингу психологічного стану дозволив класифікувати їх за джерелами даних, режимами вимірювання та рівнем аналітичної обробки інформації в рамках задачі психологічного моніторингу. Встановлено обмеження кожного класу методів щодо забезпечення безперервності, точності, адаптивності чи глибини інтерпретації психологічних показників.

3. Досліджено засоби реалізації методів моніторингу психологічного стану з огляду на їх архітектурні та системні характеристики. Інформаційні системи автоматизованої психологічної діагностики, відеомоніторингу, психолінгвістичні платформи, а також UEBA- та DLP-орієнтовані засоби мають практичні обмеження архітектури. Обмеження стосуються сесійного режиму роботи, пакетної обробки даних, підтримки мультимодальної інтеграції та складності масштабування.

4. На основі етичних аспектів обробки персональних даних на рівні архітектури сформовано вимоги до інформаційних систем безперервного моніторингу психологічного стану персоналу. Ключовими аспектами визначено ключові архітектурні принципи, які полягають у мінімізації даних, селективному багаторівневому аналізі, агрегуванні та псевдонімізації результатів.

5. На основі аналізу обмежень інтелектуальних підходів до безперервного моніторингу психологічного стану персоналу виявлено обмеження цих підходів. Основні обмеження полягають у використанні однорівневих моделей аналізу, статичних вагових коефіцієнтів, недостатньому динамічному узгодженні мультимодальних даних, інтерпретованості та прозорості результатів, а також у переважно реактивному характері аналізу даних.

6. На основі проведеного системного аналізу сформульовано невирішену науково-практичну задачу, яка полягає у підвищенні точності результатів безперервного моніторингу психологічного стану персоналу при забезпеченні адаптивності та інтерпретованості результатів. Вирішення задачі потребує розробки інформаційної технології безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану персоналу.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОКОНТРОЛЮ ПЕРВИННИХ ОЗНАК ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ

#### 2.1 Модель вхідних даних для відеомоніторингу психологічних функціональних станів

У роботі під показниками психологічних функціональних станів надалі маються на увазі первинні показники станів, які визначаються за зовнішніми невербальними проявами. Такі показники вимірюються відеосистемою моніторингу з метою подальшого їх глибинного аналізу на основі отриманого відеоряду. Отримані значення виступають першим рівнем показників (первинними показниками) та уточнюються на подальших етапах.

Відеоспостереження виступає первинним інструментом моніторингу та забезпечує безперервність процесу. Виявлені девіації досліджуються на більш детальному та глибинному рівні. Візуальні ознаки психологічних функціональних станів персоналу виступають вхідними даними відеомоніторингу. Подальша розробка методу інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічних функціональних станів потребує формування моделі вхідних даних, які оброблюються системою відеомоніторингу.

Для працівника  $L$  формується потік відеоспостереження  $V_L = \{I_L(\tau)\}$ , де  $I_L(\tau)$  – зображення (кадр відеоряду) у момент часу  $\tau$ . Вхідні дані для методу відеоконтролю задаються у потоковому вигляді як сукупність кадрів відеоряду з урахуванням ознак невербальних характеристик персоналу, які вони відображають. Невербальні характеристики розподіляються за окремими класами, для опису яких використовується множина  $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ , де  $S_1$  – вираз обличчя;  $S_2$  – постава тіла;  $S_3$  – жести;  $S_4$  – рухи тіла.

Включення до множини таких класів, як постава тіла, жести та рухи тіла визначено вимогою інформативності. Така потреба зумовлена тим фактом, що емоційне відношення особи до ситуації визначається за візуальними ознаками, які

доповнюють вирази обличчя, що впливає з роботи [58]. Значення цих класів додатково посилюється положеннями, висвітленими у роботі [17] про можливість виділення психологічних ознак за просторовими характеристиками положення частин тіла під час відеоспостереження.

Цільовий простір виходів відеоряду задається множиною психологічних функціональних станів  $P = \{P_1, \dots, P_9\}$ , де  $P_1$  – стрес;  $P_2$  – страх;  $P_3$  – гнів;  $P_4$  – сором;  $P_5$  – фрустрація;  $P_6$  – агресія;  $P_7$  – радість;  $P_8$  – занепокоєння;  $P_9$  – апатія.

Для коректної роботи відеоспостереження у потоковому режимі вводиться нейтральний клас  $P_0$ , який описує відсутність виражених проявів будь-якого з вимірюваних дев'яти станів на кадрі. Нейтральний клас присвоюється у випадку відсутності домінуючих ознак вимірюваних станів.

Для уникнення термінологічної невизначеності слід розрізняти позначення класу стану  $P_i$  як категорії простору виходів відеоряду та числову оцінку прояву станів на кадрі, яка буде позначена як  $p_{i,L}(\tau) \in [0,1]$ . Надалі позначення  $P_i$  використовується для класу психологічного функціонального стану. Для вектора числових оцінок (коефіцієнтів) прояву відповідних станів, одержаних за відеорядом застосовується позначення  $P_L^{vid}(\cdot)$ . Для кожного кадру  $I_L(\tau)$  відеоряду виконується формування вектору первинних оцінок відеоканалу за формулою:

$$P_L^{vid}(\tau) = (p_{1,L}(\tau), \dots, p_{9,L}(\tau)), \quad (2.1)$$

а відношення кадру до нейтрального класу  $P_0$  визначається з урахуванням умови:  $\max_{i=1,9} p_{i,L}(\tau) < \delta$ , де  $\delta$  – поріг вираженості, який встановлюється в рамках алгоритму відеоконтролю.

Важливо наголосити, що на одному кадрі можуть бути присутні ознаки різних класів  $S_1, \dots, S_4$ , які не виключають одне одного, а доповнюють. У подальшому існує потреба агрегування кадрів з метою формування інтегрального показника.

Безперервний характер моніторингу для методу визначає потребу включення темпоральної аналітичної характеристики до моделі вхідних даних. До моделі вноситься повторюваний часовий інтервал  $t$ . Така темпоральна характеристика може

бути представлена ковзним або фіксованим інтервалом, протягом якого виконується процедура агрегування кадрів без зупинки процедури відеомоніторингу.

За результатами класифікації множина кадрів  $G_{i,L}(t)$  має належність до класу  $P_i$  у межах інтервалу  $t$ . Кадр  $I_L(\tau)$  відноситься до множини  $G_{i,L}(t)$ , якщо  $p_{i,L}(\tau) \geq \delta$ . Один кадр може належати одночасно кільком множинам  $G_{i,L}(t)$ , що узгоджується з можливістю аналізу різних класів  $S$  та одночасної присутності на кадрі декількох вимірюваних невербальних ознак. Сумарна кількість елементів в усіх множинах  $G_{i,L}(t)$  може перевищувати загальну кількість кадрів.

У якості інтегральної потокової характеристики в межах часового інтервалу  $t$  застосовується щільність прояву стану  $P_i$ :

$$\rho_{i,L}(t) = \frac{|G_{i,L}(t)|}{q \cdot t}, \quad (2.2)$$

де  $q$  – кількість кадрів за секунду;  $t$  – часовий інтервал;  $|G_{i,L}(t)|$  – потужність множини кадрів відповідного класу;  $\rho_L(t) = (\rho_{1,L}(t), \dots, \rho_{9,L}(t))$  – вектор щільностей станів.

Параметри  $(P_L^{vid}(\tau), \rho_L(t))$  надають можливість забезпечення необхідного рівня інформативності при покадровому аналізі та необхідного рівня стійкості на інтервалі під час оцінюванні у потоковому режимі. Інтервально агреговані оцінки проявів станів визначаються:

$$P_L^{vid}(t) = A(\{P_L^{vid}(\tau)_{\tau \in t}\}), \quad (2.3)$$

де  $A(.)$  – оператор агрегування (визначається формально у підрозділі 2.2).

Повинна бути технічна можливість вимірювання вхідних параметрів відеомоніторингу, що вимагає виконання відповідних умов на модель вхідних даних. Дані відеомоніторингу інтерпретуються як вимірювальні спостереження, для яких має виконуватись умова спостережуваності ключових класів невербальних ознак  $S_1, \dots, S_4$  та достатня часова роздільність відеопотоку для обчислення інтервальних характеристик. Обчислення інтервальних характеристик має на меті обчислення щільності станів на інтервалі  $t$ . Конкретні умови застосовності, до яких належать параметри зйомки, фактори деградації спостережень та їх вплив на якість оцінювання детально наведено в підрозділі 2.4.

На виході відеоканалу для кожного працівника  $L$  у межах часового інтервалу  $t$  формується узгоджений вектор первинних показників. Доцільність формування вектора зумовлена необхідністю виконання подальших етапів узгодження вагових коефіцієнтів при інтеграції з іншими модальностями. Вектор формується за формулою:

$$x_L^{vid}(t) = [\rho_L(t), P_L^{vid}(t), k_L(t)], \quad (2.4)$$

де  $P_L^{vid}(t)$  – інтервально агреговані оцінки проявів станів;  $k_L(t)$  – коефіцієнт девіації для базової поведінки працівника. Коефіцієнт девіації показує рівень відхилення функціонального стану, застосовується у ролі триггеру з метою проведення подальших процедур аналізу та обчислюється за формалізованим правилом, наведеним у підрозділі 2.3.

## **2.2 Формалізоване представлення методу інтелектуального відеоконтролю та алгоритм його роботи**

Представлений у роботі метод інтелектуального відеоконтролю призначений для безперервного отримання первинних оцінок візуальних фізичних проявів психологічних функціональних станів персоналу. Джерелом таких даних є результат відеоспостереження, який надає можливість визначити особу (осіб), що потребує (-ють) подальшого глибокого аналізу. Метод спирається на вхідні дані, що являють собою сукупність класів невербальних характеристик  $S$  (підрозділ 2.1). Вихідними даними виступають у вигляді вектора первинних оцінок проявів станів та девіативних індикаторів для персоналу. Одержувані оцінки інтерпретуються як первинні індикатори для інформаційно-технологічних засобів та не є медичним діагнозом. Розроблений метод у стислому форматі з ключовим науковим результатом опубліковано у статті [59], у дисертації наводиться повна формалізація.

Концепція методу дозволяє описати його у вигляді перетворення результатів потокового відеоспостереження в узгоджений вектор первинних оцінок проявів психологічних станів, у коефіцієнт девіації психологічного профілю співробітника та в інтегральну оцінку стану з ваговим узгодженням.



Концептуальна структурна схема методу представлена на рисунку 2.1.

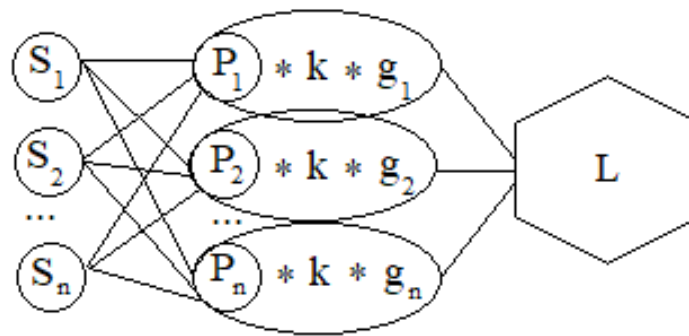


Рисунок 2.1 – Концептуальна структурна схема визначення відхилень психологічних функціональних станів співробітників

Метод складається з п'яти етапів: навчання нейромережі, покадрового аналізу, визначення коефіцієнтів психічного стану, визначення вагових коефіцієнтів, визначення загального стану працівника. Його формалізоване представлення з урахуванням етапів функціонування відповідає структурно-логічній схемі (рис. 2.2).

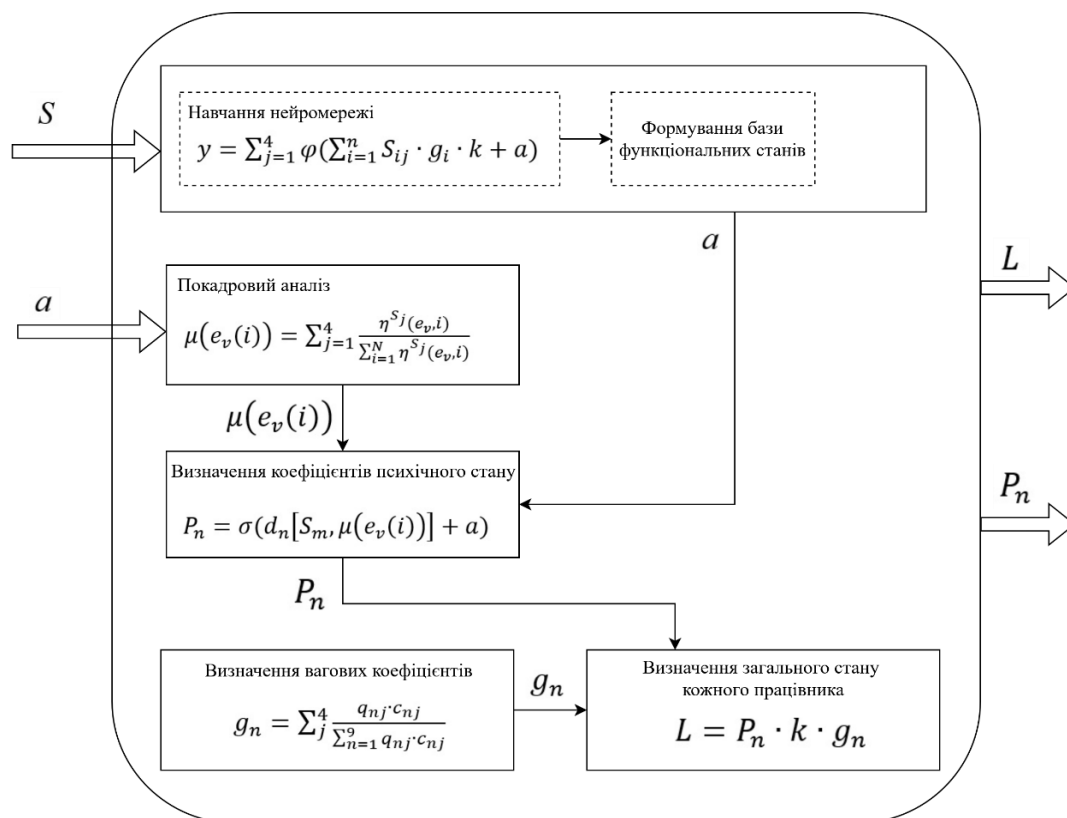


Рисунок 2.2 – Структурно-логічна схема методу інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану

З метою уникнення перевантаження нотації визначаються основні величини формалізації методу:  $P_i$  – клас стану;  $p_{i,L}(\cdot)$  – покадрова числова оцінка прояву класу  $P_i$ ;  $P_L^{vid}(\cdot)$  – вектор оцінок прояву;  $P_{i,L}(t)$  – коефіцієнт прояву стану  $P_i$  на інтервалі  $t$ . У структурно-логічній схемі позначено дві групи вагових коефіцієнтів: вагові коефіцієнти нейромережі та вагові коефіцієнти значущості станів. Для однозначної інтерпретації ваги нейромережі будуть позначені як  $g_i^{NN}$ , а ваги значущості станів як  $g_i(t)$ . Параметри зсуву нейромережевого блоку позначаються як  $a^{NN}$ , а зсув у сигмоїдному перетворення при обчисленні коефіцієнтів стану як  $a^P$ .

На першому етапі методу відбувається навчання нейромережі та формування бази психологічних функціональних станів персоналу. На основі вхідних даних виконується формування бази навчальних прикладів за класами невербальних характеристик  $S_1, \dots, S_4$  та цільовими станами  $P_1, \dots, P_9$  з урахуванням нейтрального  $P_0$  (підрозділ 2.1). Основною метою даного етапу є отримання компактної моделі, придатної для потокової обробки відеоданих в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Легка нейромережа [17] обрана з метою потокового аналізу відеоряду та використовується для опису нейромережевого блоку. Нейромережа дає компактний ознаковий опис кадру для потоковості.

Виходи для чотирьох груп невербальних ознак задаються у вигляді вектора:

$$y(\tau) = (y_1(\tau), y_2(\tau), y_3(\tau), y_4(\tau)), \quad y_j(\tau) = \varphi(\sum_{r=1}^n S_{rj}(\tau) g_r^{NN} k + a^{NN}), \quad (2.5)$$

де  $\varphi(\cdot)$  – сигмоїдна функція активації;  $a^{NN}$  – параметр зміщення, який оцінюється під час навчання;  $S_{rj}(\tau)$  – компоненти опису кадрів за ознаками для класів  $S_1, \dots, S_4$ ;  $g_r^{NN}$  – вагові коефіцієнти нейромережі;  $k$  – коефіцієнт масштабування.

З метою агрегування виходів за групами  $S_1, \dots, S_4$  вводиться інтегральний скалярний індикатор:

$$y_{sum}(\tau) = \sum_{j=1}^4 y_j(\tau) = \sum_{j=1}^4 \varphi(\sum_{r=1}^n S_{rj}(\tau) g_r^{NN} k + a^{NN}), \quad (2.6)$$

який використовується у вигляді агрегованої характеристики.

Результатом виконання першого етапу методу виступає параметризована модель відеоряду та сформована база еталонних і навчальних описів. Така база використовується у процесі покадрового оцінювання на другому етапі методу.

На другому етапі методу відбувається покадровий аналіз. Для кожного працівника  $L$  формується потік кадрів  $V_L = \{I_L(\tau)\}$  (підрозділ 2.1). Для кожного кадру  $I_L(\tau)$  проводиться аналіз з урахуванням класів невербальних характеристик  $S_1, \dots, S_4$ . Для покадрової класифікації зображень використано підхід на основі статистичного розподілу, описаний в [60]. Для формального опису вводиться міра належності ознакового опису кадру  $e_v$  до еталонних прикладів у базі. Обчислення виконується окремо для кожного класу ознак на інтервалі  $j \in \{1, \dots, 4\}$  за функцією належності зображення до того чи іншого функціонального стану:

$$\mu_{e_v, i}^{S_j}(\tau) = \frac{\eta^{S_j}(e_v, i)}{\sum_{r=1}^N \eta^{S_j}(e_v, r)}, \quad (2.7)$$

де  $\eta^{S_j}(\cdot)$  – міра подібності ознак класу  $S_j$  у просторовій орієнтації;  $i$  – індекс еталонного прикладу;  $N$  – кількість еталонів;  $r$  – індекс сумування у знаменнику (введений з метою уникнення конфлікту індексів). На практиці існує можливість реалізовувати  $\eta^{S_j}$  через метрики порівняння, які доцільно використовувати в умовах обмежених обчислювальних потужностей. Міра подібності може бути реалізована через манхетенську метрику. Така особливість дозволяє реалізувати потокове застосування.

Для узгодження з узагальненою версією формалізації методу, опублікованого у статті [59] введено узагальнений індикатор:

$$\mu_{Sum}(e_v(i), \tau) = \sum_{j=1}^4 \mu_{e_v, i}^{S_j}(\tau), \quad (2.8)$$

але у подальших формалізованих перетвореннях використовуються часткові компоненти  $\mu_{e_v, i}^{S_j}(\tau)$ . Ці часткові компоненти забезпечують кероване узгодження внесків для класів  $S_1, \dots, S_4$ .

Третій етап передбачає визначення коефіцієнтів психічного стану. Коефіцієнти визначаються у процесі формування покадрових оцінок на часових інтервалах.

Використовуючи результати, обчислені за допомогою (2.7) виконується формування векторів первинних покадрових проявів психологічних станів. З метою

узгодження  $\mu \rightarrow p$  застосовується зважена згортка по класах невербальних ознак, виражена через вектор та його компоненти:

$$P_L^{vid}(\tau) = (p_{1,L}(\tau), \dots, p_{9,L}(\tau)), \quad p_{i,L}(\tau) = \sum_{j=1}^4 \alpha_j \mu_{e_v,i}^{S_j}(\tau). \quad (2.9)$$

Для нейтрального класу використовується умова  $\max_{i=\overline{1,9}} p_{i,L}(\tau) < \delta$ , де  $\delta$  – поріг вираженості (підрозділ 2.1). З метою забезпечення відтворюваності результатів валідації та порівняння (підрозділ 2.4) параметри  $\alpha_j$  і  $\delta$  фіксуються після калібрування.

Наступною дією, що слідує за даними маніпуляціями є перехід до інтервального представлення проявів психічних станів. Визначення коефіцієнтів психічного стану ґрунтується на способі використання сигмоїди, описаному в [61] з урахуванням щільності функціональних станів на часовому проміжку. Для формалізації методу коефіцієнти прояву психічних станів задаються сигмоїдним відображенням з використанням узагальненої функції інтеграції  $d_{i,L}[\cdot]$  для  $i \in \{1, \dots, 9\}$  за наступною формулою:

$$P_{i,L}(t) = \sigma(d_{i,L}[S_m, \mu(e_v)] + a^P), \quad (2.10)$$

де  $\sigma(\cdot)$  – сигмоїдна функція;  $a^P$  – параметр зсуву у перетворенні коефіцієнтів стану;  $S_m$  – множина ознак, яка відповідає класам  $S_1, \dots, S_4$ .

Інтеграція проводиться на повторюваному інтервалі  $t$ , що спричинено потребою забезпечення властивостей потокової обробки відеоданих. Для забезпечення інтеграції важливою умовою є формування кадрів, віднесених до відповідних станів за формулою:

$$I_L(\tau) \in G_{i,L}(t) \leftrightarrow p_{i,L}(\tau) \geq \delta, \quad (2.11)$$

а також визначення інтервальної щільності прояву відповідного стану за формулою:

$$\rho_{i,L}(t) = \frac{|G_{i,L}(t)|}{q \cdot t}, \quad (2.12)$$

де  $q$  – частота кадрів за секунду.

Вже згадана характерна особливість, що спричиняє можливість віднесення одного кадру до різних невербальних проявів (до різних множин  $G_{i,L}(t)$ ) не суперечить визначенню  $\rho_{i,L}(t)$  – щільність обчислюється для кожного  $i$  окремо.

Для формування можливості подальшої відтворюваності експериментальної перевірки (підрозділ 2.4) оператор інтеграції  $d_{i,L}$  конкретизується через інтервальну щільність прояву стану  $\rho_{i,L}(t)$  для  $i \in \{1, \dots, 9\}$  за формулою:

$$d_{i,L}[S_m, \mu(e_v)] \equiv \rho_{i,L}(t). \quad (2.13)$$

Після підстановки формується вираз для інтервального коефіцієнта прояву стану  $P_{i,L}(t)$  у вигляді сигмоїдного перетворення:

$$P_{i,L}(t) = \sigma(\rho_{i,L}(t) + a^P). \quad (2.14)$$

Параметри  $a^{NN}$  і  $a^P$  є різними за змістом. Параметр  $a^{NN}$  належить нейромережевому блоку (етап 1 методу), а параметр  $a^P$  етапу інтервального узгодження коефіцієнтів станів. У базовій реалізації  $a^P$  оцінюється на етапі калібрування при проведенні експерименту (підрозділ 2.4) та фіксується для порівняльної перевірки.

На основі застосування оператора агрегування формується узгоджений вектор оцінок:

$$P_L^{vid}(t) = A(\{P_L^{vid}(\tau)\}_{\tau \in t}). \quad (2.15)$$

Оператор агрегування  $A(.)$  введено як елемент моделі вхідних даних (підрозділ 2.1), що передбачає формальне його визначення у підрозділі 2.2. Оператор  $A(.)$  виконує узгодження покадрових оцінок  $P_L^{vid}(\tau)$  на часовому інтервалі  $t$ . Оператор відображає множину векторів покадрових оцінок у єдиний інтервальний вектор за формулами (2.15)-(2.18). Для забезпечення відтворюваності та стабільності потокового оцінювання у базовій реалізації застосовується покомпонентне усереднення на інтервалі  $t$  для  $i \in \{1, \dots, 9\}$ :

$$p_{i,L}(t) = \frac{1}{|T(t)|} \sum_{\tau \in T(t)} p_{i,L}(\tau), \quad (2.16)$$

де  $T(t)$  – множина моментів часу, які належать інтервалу  $t$ . За необхідності аналізу короткочасних пікових проявів психічних станів при застосуванні на практиці допускається використання альтернативних реалізацій  $A(.)$ . Допускається використання медіанного агрегування або оператора максимуму. Для задач роботи фіксується базова реалізація – усереднення.

Область визначення і результат застосування оператора  $A(.)$  представлено формулою:

$$A: \{P_L^{vid}(\tau)\}_{\tau \in t} \rightarrow P_L^{vid}(t), \quad (2.17)$$

Покомпонентне означення (2.16) зумовлює формування інтервального вектору оцінок як збирання компонент:

$$P_L^{vid}(t) = (p_{1,L}(t), \dots, p_{9,L}(t)), \quad (2.18)$$

Четвертий етап методу передбачає визначення вагових коефіцієнтів. Для урахування різної значущості психічних станів вводяться вагові коефіцієнти  $g_i$ . Вагові коефіцієнти відображають відносну значущість відповідного стану  $P_i$  у загальному профілі. Вагові коефіцієнти визначаються на основі факторного аналізу, описаного в роботі [62] за формулою:

$$g_i = \sum_j^4 \frac{q_{ij}c_{ij}}{\sum_{r=1}^9 q_{rj}c_{rj}}, \quad (2.19)$$

де  $c_{ij}$  – факторне навантаження, що відображає вагу внеску ознак класу  $S_j$  у стан  $P_i$ ;  $q_{ij}$  – коефіцієнт узгодження наявності і значущості ознак у бінарному поданні. Деталізований механізм формування  $c_{ij}$  та  $q_{ij}$  наведено у підрозділі 2.3.

П'ятий етап методу передбачає визначення загального стану кожного працівника через формування інтегральної оцінки. Після визначення коефіцієнтів прояву станів та вагових коефіцієнтів формується первинна інтегральна оцінка стану працівника для  $i \in \{1, \dots, 9\}$  за формулою:

$$L_{i,L}(t) = P_{i,L}(t) \cdot k_L(t) \cdot g_i(t), \quad (2.20)$$

де  $k_L(t)$  – коефіцієнт девіації.

Коефіцієнт девіації визначається як нормована міра відхилення поточного профілю  $\{P_{i,L}(t)\}$  від базового відкаліброваного в процесі навчання нейромережі профілю працівника. Коефіцієнт девіації виконує роль тригера для подальшої глибинної перевірки психологічного стану працівника з використанням інших модальностей надходження даних. Формалізоване правило обчислення коефіцієнту наводиться у підрозділі 2.3, а вплив параметрів і порогів проводиться у підрозділі 2.4.

Вихід відеоканалу на інтервалі  $t$  фіксується у вигляді вектора первинних показників за формулою:

$$x_L^{vid}(t) = [\rho_L(t), P_L^{vid}(t), k_L(t)], \quad (2.21)$$

де  $\rho_L(t) = (\rho_{1,L}(t), \dots, \rho_{9,L}(t))$  та  $P_L^{vid}(t)$  визначаються за формулами (2.12)-(2.16), а  $k_L(t)$  уточняється в підрозділі 2.3.

Алгоритм роботи методу (блок-схема наведена у додатку Б на рисунку Б.1) передбачає наступні кроки:

- 1) формування бази навчальних та еталонних прикладів для класів невербальних ознак  $S_1, \dots, S_4$  ці цільових станів  $P_0, P_1, \dots, P_9$ ;
- 2) навчання компактної моделі відеоканалу і фіксація параметрів  $a^{NN}$  і  $a^P$ ;
- 3) приймання відеопотоку  $V_L = \{I_L(\tau)\}$  для кожного працівника  $L$ ;
- 4) виділення та обчислення ознак за класами  $S_1, \dots, S_4$  для кожного кадру  $I_L(\tau)$ ;
- 5) обчислення нормованих мір належності  $\mu_{e_v,i}^{S_j}(\tau)$  для кожного класу  $S_j$  окремо;
- 6) обчислення покадрових оцінок прояву станів  $p_{i,L}(\tau)$  через зважену згортку мір  $\mu^{S_j}(\tau)$  за класами  $S_1, \dots, S_4$ ;
- 7) формування покадрового вектору оцінок  $P_L^{vid}(\tau) = (p_{1,L}(\tau), \dots, p_{9,L}(\tau))$ ;
- 8) перевірка умови нейтрального класу  $P_0$ : якщо  $\max_i p_{i,L}(\tau) < \delta$ , тоді кадр вважається нейтральним;
- 9) формування множини кадрів  $G_{i,L}(t)$ : кадр належить множині  $G_{i,L}(t)$ , якщо  $p_{i,L}(\tau) \geq \delta$ ;
- 10) обчислення щільності проявів станів  $\rho_{i,L}(t) = \frac{|G_{i,L}(t)|}{q \cdot t}$ ;
- 11) задання агрегування на інтервалі  $t$ :  $P_L^{vid}(t) = A(\{P_L^{vid}(\tau)\}_{\tau \in t})$ ;
- 12) обчислення інтервальних коефіцієнтів прояву станів  $P_{i,L}(t)$  через сигмоїдне перетворення із параметром зсуву  $a^P$  та використанням конкретизації оператора інтеграції через  $\rho_{i,L}(t)$ ;
- 13) обчислення вагових коефіцієнтів значущості станів  $g_i(t)$ ;

- 14) обчислення коефіцієнту девіації  $k_L(t)$  як індикатор відхилення поточного профілю співробітника від базового на інтервалі  $t$ ;
- 15) формування інтегрального профілю станів  $L_{i,L}(t) = P_{i,L}(t) \cdot k_L(t) \cdot g_i(t)$ ;
- 16) формування  $x_L^{vid}(t) = [\rho_L(t), P_L^{vid}(t), k_L(t)]$  – вихідного вектору відеоканалу;
- 17) оновлення інтервальних величин при переході до наступного інтервалу  $t$  для забезпечення безперервності моніторингу.

### 2.3 Формування вагових коефіцієнтів значущості та коефіцієнту девіації

Забезпечення керованої інтерпретації отриманих первинних оцінок ознак психологічного стану персоналу за даними відеоряду передбачає розгляд двох взаємодоповнюючих груп параметрів. Ці параметри в подальшому уточнюються в результаті виконання психолінгвістичного аналізу та інтегруються з іншими модальностями. До першої групи параметрів відносяться вагові коефіцієнти значущості психологічних функціональних станів  $g_i(t)$ , які визначають внесок окремих станів  $P_i$  у профіль співробітника. До другої групи відноситься коефіцієнт девіації  $k_L(t)$ , який характеризує відхилення поточного профіля працівника від його базового профілю. Коефіцієнт девіації використовується як тригер для ініціації подальшого глибинного аналізу. На відміну від нейромережевого вагового коефіцієнта  $g_r^{NN}$ , оцінювання якого здійснюється під час навчання (підрозділ 2.2), значення коефіцієнтів  $g_i(t)$  та  $k_L(t)$  формується під час безперервного моніторингу на інтервалах  $t$ .

Вагові коефіцієнти значущості  $g_i(t)$  необхідні для оцінювання різної ваги впливу станів  $P_i$  на загальний психічний стан співробітника під час первинного моніторингу. Їх уточнення здійснюється на наступному етапі, що передбачає глибинний аналіз. Стани  $P_i$  по різному відображаються у класах невербальних характеристик  $S_1, \dots, S_4$ . Для формального опису значущості для  $i \in \{1, \dots, 9\}$  та для  $j \in \{1, \dots, 4\}$  використовується матриця факторних навантажень  $C = \{c_{i,j}\}$ , де  $c_{i,j}$



інтерпретується як факторне навантаження, яке відображає вагомість внеску класу  $S_j$  у формування проявів стану  $P_i$  згідно термінологічному базису факторного аналізу [62].

Отримання факторного навантаження  $c_{i,j}$  передбачає виконання калібрувальної процедури. При виконанні цієї процедури формується матриця спостережень  $Z$ , рядки якої відповідають часовим інтервалам калібрувальної вибірки, а стовпці агрегованим індикаторам активності класів невербальних ознак та інтервальним коефіцієнтам прояву станів (обчислені у підрозділі 2.2). На основі матриці спостережень проводиться факторний аналіз, результатом якого є матриця навантажень. Завдяки цим діям простежується чіткий зв'язок між класом ознак та станом. Базовий  $c_{i,j}$  фіксується після калібрування та не змінюється в рамках експериментальної перевірки (підрозділ 2.4) з метою забезпечення відтворюваності результатів.

Коефіцієнти узгодження  $q_{i,j}(t)$  відображають чи прояви з конкретного класу невербальних ознак  $S_j$  підтримують стан  $P_i$  на інтервалі  $t$ . У роботі коефіцієнт узгодження  $q_{i,j}(t)$  відображає частковий внесок класу  $S_j$  у формування прояву стану  $P_i$ . Бінарного підходу, який проявляється у активуванні класу за умови приступності стану недостатньо для забезпечення належного моніторингу. Дослідження часткового внеску узгоджується з частковими компонентами міри належності (підрозділ 2.2).

Визначення коефіцієнтів передбачає два етапи: введення бінарного індикатора та обчислення часткового внеску. На першому етапі бінарний індикатор наявності прояву стану  $P_i$  на інтервалі  $t$  для  $i \in \{1, \dots, 9\}$  обчислюється за формулою:

$$b_{i,L}(t) = \begin{cases} 1, & \rho_{i,L}(t) \geq \delta_\rho \\ 0, & \rho_{i,L}(t) < \delta_\rho \end{cases} \quad (2.22)$$

де  $\delta_\rho \in [0,1]$  – поріг щільності.

Поріг щільності задається під час калібрування та уточнюється під час експерименту (підрозділ 2.4).

Другий етап передбачає визначення інтервально агрегованого часткового внеску класу  $S_j$  у стан  $P_i$ . Агрегований внесок при  $i \in \{1, \dots, 9\}$  та  $j \in \{1, \dots, 4\}$  обчислюється за формулою:

$$\bar{\mu}_{i,L}^{S_j}(t) = A(\{\mu_{i,L}^{S_j}(\tau)\}_{\tau \in t}), \quad (2.23)$$

де  $\mu_{i,L}^{S_j}(\tau)$  – часткова міра належності стану  $P_i$  класу ознак  $S_j$  на кадрі  $\tau$ ;  $A(\cdot)$  – оператор агрегування у відеоканалі.

У пороговому поданні індикатор коефіцієнту узгодження представлений формулою:

$$b_{i,L}^{S_j}(t) = \begin{cases} 1, & \bar{\mu}_{i,L}^{S_j}(t) \geq \delta_\mu \\ 0, & \bar{\mu}_{i,L}^{S_j}(t) < \delta_\mu \end{cases}, \quad (2.24)$$

де  $\delta_\mu \in [0,1]$  – поріг релевантного внеску (задається під час калібрування).

Коефіцієнт узгодження у базовій реалізації при  $i \in \{1, \dots, 9\}$  та  $j \in \{1, \dots, 4\}$  представлений формулою:

$$q_{ij}(t) = b_{i,L}(t) \cdot b_{i,L}^{S_j}(t). \quad (2.25)$$

Завдяки наведеній процедурі забезпечується принципова властивість, яка передбачає, що стан отримує вагу лише він відмінний від нейтрального стану та підтверджений внесками відповідних класів  $S_j$ . При використанні на практиці допустимим є використання небінарної форми  $q_{ij}(t) = f(\bar{\mu}_{i,L}^{S_j}(t), \rho_{i,L}(t))$ . У роботі використовується базова реалізація з метою забезпечення відтворюваності порівняльної перевірки.

Матриця  $C = \{c_{i,j}\}$  та коефіцієнти узгодження  $q_{ij}(t)$  використовуються для формування вагових коефіцієнтів значущості станів. Вагові коефіцієнти значущості станів при  $i \in \{1, \dots, 9\}$  задаються нормованою згорткою:

$$g_i(t) = \frac{\sum_{j=1}^4 q_{ij}(t) c_{ij}}{\sum_{r=1}^9 \sum_{j=1}^4 q_{rj}(t) c_{rj}}. \quad (2.26)$$

Завдяки цьому досягається рівність  $\sum_{i=1}^9 g_i(t) = 1$  за умови  $\sum_{r=1}^9 \sum_{j=1}^4 q_{rj}(t) c_{rj} \neq 0$ . У зв'язку з цим досягається можливість забезпечення керованого обнулення значень вагових коефіцієнтів для станів, які не фігурують у

поточному прояві:  $q_{ij}(t) = 0$ . У випадку, коли відсутні виражені прояви для усієї множини станів на інтервалі  $t$  вагові коефіцієнти приймаються рівними значенням, зафіксованим на останньому валідному інтервалі.

Окрім вагових коефіцієнтів у процесі відеоконтролю первинних ознак психологічних станів важливу роль відіграє коефіцієнт девіації  $k_L(t)$ . Коефіцієнт девіації використовується у процесі оцінювання відхилення поточного психологічного профілю співробітника від його базової (характерної йому) поведінки. Профіль базової поведінки формується під час калібрування еталонному на часовому інтервалі та описується вектором:

$$\bar{P}_L^{base} = (\bar{P}_{1,L}^{base}, \dots, \bar{P}_{9,L}^{base}), \quad (2.27)$$

де  $\bar{P}_L^{base}$  – середнє значення інтервального коефіцієнту прояву психологічного стану  $P_{i,L}(t)$  на еталонному проміжку при калібруванні. Поточний профіль на інтервалі  $t$  задається формулою:

$$P_L(t) = (P_{1,L}(t), \dots, P_{9,L}(t)), \quad (2.28)$$

де  $P_{1,L}(t)$  обчислюється за визначеними у підрозділі 2.2 формулами.

Девіація профілю визначається через нормовану евклідову відстань за формулою:

$$d_L^{norm}(t) = \frac{1}{\sqrt{9}} \|P_L(t) - \bar{P}_L^{base}\|_2(P_{1,L}(t), \dots, P_{9,L}(t)). \quad (2.29)$$

Інтерпретованість та масштабну стійкість оцінки незалежно від кількості станів забезпечується завдяки нормуванню через  $\sqrt{9}$ .

Коефіцієнт девіації обчислюється через сигмоїдне нормування за формулою:

$$k_L(t) = \sigma(\beta \cdot d_L^{norm}(t) - \gamma), \quad (2.30)$$

де  $\beta > 0$  – параметр масштабу;  $\gamma$  – параметр зсуву.

Параметри масштабу і зсуву задаються та уточнюються на етапі калібрування і валідації. У таких умовах  $k_L(t) \in (0,1)$  та зростає зі збільшенням відхилення профілю від еталону. За умови  $k_L(t) \geq \delta_k$  при порозі спрацювання  $\delta_k \in (0,1)$  співробітник підлягає поглибленому аналізу.

На основі вагових коефіцієнтів значущості та коефіцієнта девіації при тому, що формується інтегральний профіль психологічних станів співробітників за

узгодженням із формулою інтегральної оцінки (2.20). Завдяки цьому забезпечується одночасне врахування інтенсивності прояву стану, відхилення від базової поведінки та значущості стану. Первинний індикатор  $L_{i,L}(t)$  використовується у ролі індикатора інформаційно-технологічного моніторингу. Основна задача первинного індикатора полягає у відборі випадків на відповідних інтервалах, які потребують глибокого дослідження за рахунок використання системи безперервного моніторингу. Первинний індикатор не робить медичних діагностичних висновків.

Скалярне правило відбору випадків на часових інтервалах потребує інтегральної оцінки інтервалу:

$$L_L(t) = \sum_{i=1}^9 L_{i,L}(t). \quad (2.31)$$

Правило спрацювання набуває виду:  $L_L(t) \geq \delta_L$ , де  $\delta_L$  – порогове значення, яке задається на етапі калібрування та валідації. У прикладних сценаріях допустиме використання  $L_L(t) = \max_i L_{i,L}(t)$ . У дисертаційному дослідженні використовується базова реалізація.

Вихід відеоканалу на інтервалі  $t$  задається узгодженим вектором первинних показників за формулою (2.4). Уточнений коефіцієнт девіації дозволяє сформувати повний вектор. Вихідний вектор використовується як вихідна інформація відеомодальності безперервного аналізу. Значення  $L_L(t)$  та  $L_{i,L}(t)$  застосовуються длф первинної інтерпретації та формування триггеру для подальшого глибинного аналізу.

## **2.4 Експериментальна та порівняльна перевірка методу інтелектуального відеоконтролю. Умови застосовності та обмеження**

Експериментальна перевірка методу інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану проводилась з метою оцінки етапу первинного відеомоніторингу. Виявлені девіантні інтервали призначені для подальшого глибинного аналізу та не є клінічною діагностикою. Оцінювався процес виявлення первинних ознак та не брався до уваги сукупний результат безперервного

моніторингу, який розглянуто в наступних розділах роботи. Метою проведеного натурного експерименту було підтвердження застосовності методу для первинного рівня моніторингу психологічних функціональних станів.

Визначались наступні властивості, які забезпечує метод:

- 1) виявлення інтервалів та осіб з ознаками девіантної поведінки через коефіцієнт девіації як ключового фактору переходу до глибинного аналізу;
- 2) формування узгодженого вихідного вектору відеоканалу  $x_L^{vid}(t)$  для інтеграції з іншими модальностями;
- 3) порівняльні характеристики як потоковість та ресурсна придатність.

Експеримент проводився з використанням контрольованого сценарію, що передбачав добровільне залучення здобувачів вищої освіти. В експерименті взяло участь 17 осіб ( $|L| = 17$ ). З них 6 осіб намагались порушували встановлені правила вивчення дисциплін під час моніторингу в той час як 11 осіб слідували встановленим правилам. У межах експерименту оцінювались прояви усіх дев'яти станів  $P = \{P_1, \dots, P_9\}$ . Для кожної особи  $L$  формувався потік відеоспостереження  $V_L = \{I_L(\tau)\}$  на часових інтервалах  $t$ . На часових інтервалах обчислювались інтервальні щільності проявів станів  $\rho_{i,L}(t)$ , інтервально агреговані оцінки  $P_L^{vid}(t)$ , вагові коефіцієнти значущості  $g_i(t)$ , коефіцієнт девіації  $k_L(t)$ , профіль первинної інтерпретації  $L_{i,L}(t)$  та вихід відеоканалу  $x_L^{vid}(t)$ .

Було застосовано два сценарії інтерпретації результатів: S1 (відеоаналітичний), який передбачав оцінювання спрацювань тригера коефіцієнта девіації та S2 (моніторинговий), який передбачав оцінювання практичної ефективності з метою скорочення затратних процедур другого рівня за умови забезпечення прийнятного рівня повноти виявлення девіацій.

З метою забезпечення відтворюваності результатів експерименту наводиться опис зафіксованих умов спостереження та параметрів з різними класами характеристик.

Зафіксовані параметри відеозйомки наступні: частота кадрів ( $q=25$  кадр/с); розподільна здатність (1920x1080); компресія (H.264) для мінімізації критичних для

S1 артефактів; стаціонарна камера (кут відхилення від фронтального положення тіла не більше  $30^\circ$  на кадрах одного інтервалу); видимість тіла у кадрі (80 px по ширині).

Зафіксовані темпоральні параметри потокового режиму: інтервал агрегування ( $t=10$  с); крок оновлення (ковзне вікно –  $\Delta t = 5$  с); наявність на інтервалі не менше  $0,8 \cdot q \cdot t$  валідних кадрів, що забезпечує робастність.

Порогові параметри: поріг вираженості для покадрових оцінок (підстава віднесення до нейтрального класу:  $\delta = 0,35$ ); поріг щільності для бінаризації прояву стану ( $\delta_\rho = 0,08$ ); поріг активності класів невербальних ознак ( $\delta_s = 0,25$ ); поріг спрацювання тригера ( $\delta_k = 0,6$ ).

Зафіксовані параметри сигмоїдних нормувань: для узгодження коефіцієнтів станів ( $a^P = -0,1$ ); для девіації ( $\beta = 8$ ;  $\gamma = 2,5$ ).

Параметри поточності: ресурсні метрики (кадр/с та с/кадр) вимірювались як середні значення на безперервному потоці при однакових умовах зйомки та однаковому значенні  $q$ .

Значення  $q$ ,  $t$ ,  $\Delta t$  та пороги  $\delta$ ,  $\delta_\rho$ ,  $\delta_s$ ,  $\delta_k$  визначались процедурою калібрування на окремому фрагменті даних, призначеному для цього. Калібрувальний фрагмент не перетинався з тестовими інтервалами. Параметри  $t$  та  $\Delta t$  обирались як компроміс між стійкістю інтервальних оцінок і затримкою спрацювання тригера. При  $t < 5$  с зростала варіативність  $\rho_{i,L}(t)$  та частота хибних спрацювань. При  $t > 20$  с збільшувалась інерційність та затримка виявлення девіацій. Пороги  $\delta$  та  $\delta_\rho$  обирались з огляду на обмеження частки хибних активацій на типових інтервалах. Застосовувалось з метою обмеження штучного домінування нейтрального класу через високий поріг. Параметри  $\gamma$ ,  $\beta$  та поріг  $\delta_k$ , налаштовувались з пріоритетом мінімізації пропусків (FN) через використання  $k_L(t)$  у ролі тригера переходу на глибинний рівень аналізу. Після калібрування усі значення фіксувались та застосовувались у такому вигляді для усіх порівняльних експериментах з метою забезпечення відтворюваності.

При оцінюванні отриманих експериментальних даних застосовувались метрики якості, призначені для оцінки основних показників, які характеризують

первинний рівень безперервного моніторингу. Такими метриками були: метрики тригерного відбору за коефіцієнтом девіації та ресурсні показники потоковості.

Прогноз тригера задається як  $\hat{y}_L(t) = I[k_L(t) \geq \delta_k]$ . За таких умов обчислювались наступні метрики: Precision=TP/(TP+FP) (TP – істино-позитивні спрацювання, FN – хибно-негативні, а FP – хибно-позитивні), що відображає точність відбору інтервалів; Recall=TP/(TP+FN), що відображає повноту визначення цільових інтервалів; F1 – баланс точності та повноти; ROC-AUC – прогнозонезалежна оцінка якості ранжування коефіцієнта девіації.

Метрики для тригера спрацювання наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Метрики тригера  $k_L(t)$  для сценаріїв S1/S2

Сценарій	Precision, %	Recall, %	F1, %	ROC-AUC
S1 (відеоаналітичний)	74,0	81,0	77,3	0,82
S2 (моніторинговий)	70,0	88,0	78,0	0,86

Значення для S2 орієнтовано на підвищення мінімізації пропусків (Recall), оскільки для первинного моніторингу більш вагомим є визначення цільових інтервалів за зменшення частки хибнопозитивів. Для S1 метрики збалансовані з точки зору аналітичної стабільності спрацювання тригера під час безперервного моніторингу. З метою візуалізації прогнозонезалежної поведінки і коректності вибору  $\delta_k$  на основі тестових оцінок  $k_L(t)$  побудовано ROC-криві (рис. 2.3). Ці криві ґрунтуються на результатах прогнозонезалежного ранжирування інтегральних оцінок коефіцієнта девіації  $k_L(t)$  на тестовій частині експериментальних даних після проведеного калібрування. Для кожного інтервалу  $t$  та кожної особи  $L$  формувалась пара  $\{k_L(t), y_L(t)\}$ , де  $y_L(t)$  – бінарна мітка інтервалу відповідно сценарію S1 (мітка за відеоаналітичним правилом інтерпретатора) та S2 (мітка за моніторинговим правилом, націленим на зменшення пропусків девіацій). При зміні порогу  $\delta_k \in [0,1]$  обчислювались  $TPR(\delta_k)$  та  $FPR(\delta_k)$  для класифікатора  $\hat{y}_L(t) = I[k_L(t) \geq \delta_k]$ . Значення AUC для S1 – 0,82; для S2 – 0,86.

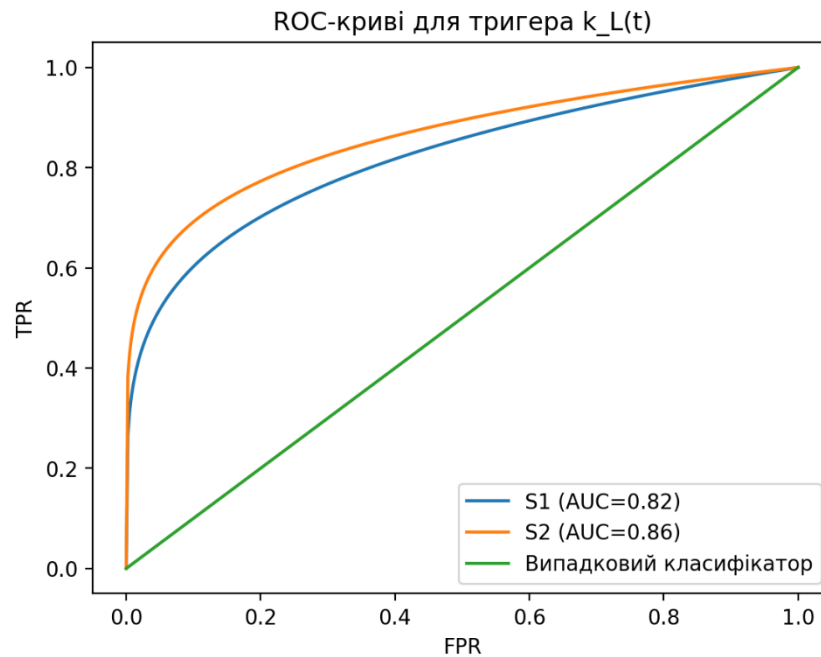


Рисунок 2.3 – ROC-криві для тригера  $k_L(t)$  у сценаріях S1/S2

Сценарій S2 демонструє краще ранжирування (вищу AUC), а сценарій S1 відображає стриманий режим порогового відсіювання. Краще ранжирування узгоджується з важливістю моніторингу при мінімізації пропусків.

Оскільки метод характеризується потоковими властивостями відеомоніторингу важливою є демонстрація темпоральної динаміки коефіцієнта девіації (рис. 2.4) та однієї з інтервальних оцінок  $P_{i,L}(t)$  на прикладах де відображено нормальний стан об'єкта досліджень та девіацію.

На рисунку наводиться ілюстративний приклад темпоральної динаміки для одного анонімізованого учасника натурного експерименту на нормальному та девіативному тестових фрагментах.

По осі часу відкладено моменти оновлення ковзного вікна ( $t=10$  с,  $\Delta t=5$  с). Суцільними лініями відображені  $k_L(t)$ , пунктиром  $P_{i,L}(t)$  для стану стрес. Горизонтальна лінія відображає поріг  $\delta_k = 0,6$ .

Приклад використано для демонстрації типової поведінки показників у потоковому режимі та не є усередненням по усій вибірці.

Графік сформовано засобами Python з використанням бібліотеки Matplotlib за даними отриманими в результаті моніторингу.



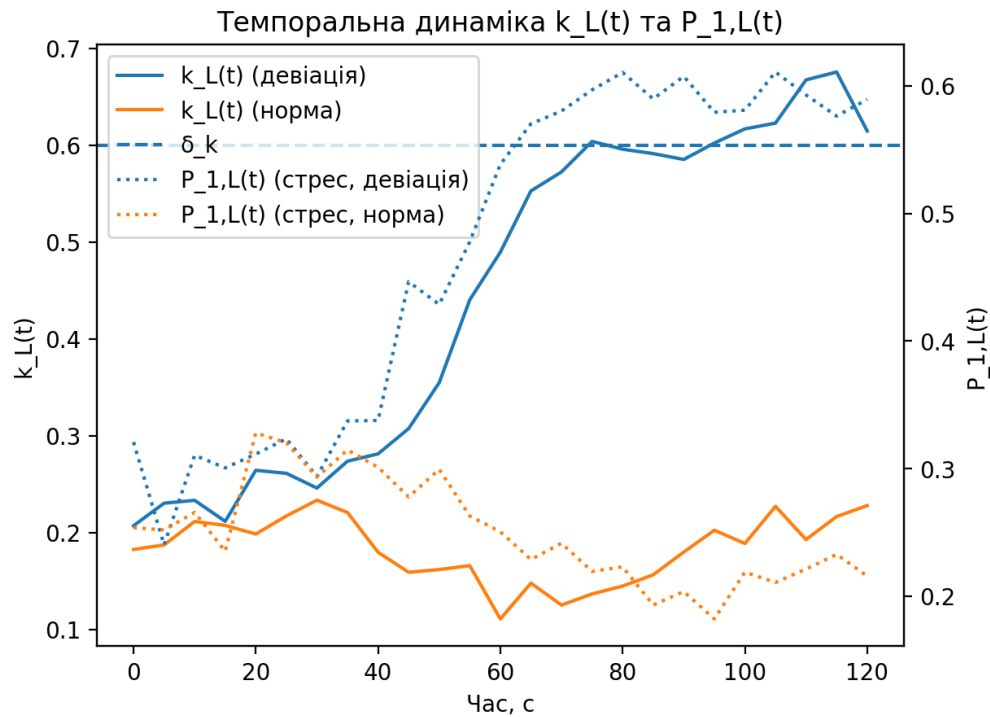


Рисунок 2.4 – Приклади темпоральної динаміки коефіцієнта девіації та зовнішніх ознак стану стресу для траєкторії нормальний стан / девіація

На траєкторії девіації спостерігається узгоджене зростання  $k_L(t)$  та  $P_{i,L}(t)$  зі стабілізацією вище чи поблизу порогу  $\delta_k$ . За траєкторії нормального стану коливання не формують стійкого перевищення порогу. Такі закономірності важливі для реалізації моніторингової логіки.

Було проведено порівняння класів аналогічних підходів з отриманими результатами експериментального дослідження розробленого методу із контрольованими ресурсними обмеженнями.

Для порівняння було обрано 4 аналоги, які є представниками різних класів методів відеоспостереження. Обрані представники використовуються на практиці у задачах відеоаналізу емоційних проявів чи поведінкових станів з типовим для цих класів представленням точності та ресурсності. Порівняння проводиться для класів методів з контрольованими ресурсними обмеженнями. Було обрано наступні методи. Кадровий CNN-підхід (M1) як базовий клас, у якому виконується по кадрава класифікація та просте темпоральне агрегування. Представником цього класу було обрано AffectNet [63]. Підхід (M2) орієнтований на дослідження позиції

тіла [64] за рахунок виділення ключових точок з подальшою класифікацією позиції тіла за динамікою. Підхід (M3) 3D CNN [65] високовиразного та обчислювально складного просторово-часового відеоаналізу. Підхід (M4) C3D/CNN з LSTM [66] визначення емоційних станів на відео, який передбачає доповнення просторових ознак рекурентною темпоральною моделлю.

Підставою для вибору зазначених аналогів виступає потреба розгляду загальної картини класових представників для вирішення задач дослідження. Для порівняння обрані не найефективніші представники в галузі, а аналоги, які покривають розглянуті в роботі питання. Аналоги представляють найпростішу кадрову логіку (M1), логіку аналізу позиції тіла (M2), глибокий тривимірний аналіз з ознаками темпоральності (M3), рекурентну темпоральну складову (M4). Розгляд саме зазначених аспектів дозволяє порівняти роботу запропонованого методу в умовах потоковості та первинного моніторингу.

Для забезпечення коректності порівняння було зафіксовано однаковий поділ на калібрування та тест, однакові інтервали  $t$  і частоту  $q$ , однаковий критерій цільового виконання сценаріїв  $y_L(t)$  та узгоджену множину метрик для усіх аналогів та розробленого методу. Результати оцінки якості тригера спрацювання методу та ресурсних затрат наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Результати порівняння характеристик точності та ресурсності для розробленого методу та аналогів

Метод	Precision, %	Recall, %	F1, %	Час обробки кадру, мс	Пропускна здатність, кадр/с
Розроблений	70	88	78	12	83
M1	58	62	60	25	40
M2	52	58	55	20	50
M3	78	82	80	37	27
M4	72	78	75	34	30

Аналіз результатів, наведених у таблиці 2.2 свідчить про нижчі значення точності у порівнянні з аналітичними 3D моделями (M3), але вищі значення потокових характеристик. Розроблений метод у повній мірі забезпечує виконання покладених на нього задач малоресурсного потокового моніторингу на першому рівні аналізу. Продемонстрована якість спрацювання тригера достатня для фіксації девіантних станів на окремих інтервалах та запуску процедури поглибленого аналізу на другому етапі.

Розроблений метод дозволяє забезпечити високу пропускну здатність для забезпечення потреб потоковості відеоаналізу при безперервному відеомоніторингу. Така властивість узгоджується з основною задачею методу – забезпечення первинного потокового моніторингу. Аналоги демонструють підвищену точність при значних затратах ресурсів, що ускладнює ефективність їх використання при первинному безперервному моніторингу.

Як уже згадувалось у підрозділі 2.1 фактори деградації спостережень впливають на якість оцінювання. У такому разі важливо продемонструвати кількісні характеристики зміни метрик тригера при типових деградаціях. Було розглянуто такі контрольовані фактори впливу на деградацію спостережень як зниження освітленості, часткове перекриття структурних елементів тіла, які приймають участь в аналізі, розмиття, компресійні артефакти відеоданих. Оцінювання проводилось за тією ж процедурою, за якою отримані попередні дані та на тих самих наборах даних, де було внесено контрольовані типові фактори впливу. Ключовим показником дослідження факторів впливу є збереження керованого рівня помилок в умовах реального використання методу. Значення втрати метрики F1 відносно базового режиму представлені у таблиці 2.3.

Відповідно до отриманих результатів, розроблений метод характеризується меншим рівнем деградації метрики F1 у порівнянні з кадровим підходом (M1). Досягнення такого результату зумовлено наявністю інтервальної моделі  $\rho_{i,L}(t)$ , агрегування  $A(.)$  та механізму узгодження внесків  $S_1 - S_4$  через  $q_{ij}(t)$  і  $g_i(t)$ . Часткове перекриття та розмитість залишаються найбільш критичними факторами впливу та виступають складовими обмежень методу.

Таблиця 2.3

Результати дослідження зміни метрик тригера при деградаціях для розробленого методу у порівнянні з M1

Умова	F1 (розроб.), %	$\Delta F1$ (розроб.), %	F1 (M1), %	$\Delta F1$ (M1), %
Базовий режим	78	0	60	0
Низьке освітлення, шум	71	-7	49	-11
Часткове перекриття	68	-10	44	-16
Розмитість	66	-12	43	-17
Артефакти	72	-6	51	-9

Окрім зазначених метрик точності коефіцієнта девіації  $k_L(t)$  його ефективність показує інтегральний показник. Цей показник поєднує результативність виявлення девіації з практичною придатністю застосування методу в потоковому режимі. Інтегральний показник визначався за формулою:

$$E_f = \frac{2 \cdot E_m \cdot E_t}{E_m + E_t}, \quad (2.32)$$

де  $E_m$  – показник ефективності виявлення (точність);  $E_t$  – показник технологічної придатності (потокова характеристика).

Для відтворюваності результатів фіксується порядок обчислень.  $E_m$  відповідає метриці F1 коефіцієнта девіації  $k_L(t)$ . Ця метрика узгоджує Precision та Recall та відображає якість первинного скринінгу. Значення F1 беруться з таблиці 2.2 у відсотковому вигляді.  $E_t$  формується на основі двох ресурсних характеристик, які відображають придатність до потокового використання: час обробки ( $T$ ) та пропускна здатність ( $FPS$ ). Значення часу отримуються за формулою:

$$E_{time} = \min\left(1, \frac{T_{ref}}{T}\right), \quad (2.33)$$

а значення пропускної здатності за формулою:

$$E_{fps} = \min\left(1, \frac{FPS}{FPS_{ref}}\right). \quad (2.34)$$

Технологічна складова визначається як гармонійне середнє  $E_{time}$  та  $E_{fps}$  з метою уникнення переваги за рахунок лише одного параметру за формулою:

$$E_t = \frac{2 \cdot E_{time} \cdot E_{fps}}{E_{time} + E_{fps}}. \quad (2.35)$$

Для досягнення повної та коректної відтворюваності методів у єдиній шкалі фіксуються значення використані при розрахунках:  $T_{ref} = 7,27$  мс/кадр ;  $FPS_{ref} = 130$  кадр/с. Зазначені параметри є параметрами нормування та застосовуються як для розробленого методу, так і для аналогів. Обґрунтування обраних значень зводиться до потреби задавання профілю потокової придатності в задачах безперервного моніторингу. Важливим є узгодження з фізичним взаємозв'язком часу обробки та пропускної здатності. Значення  $FPS_{ref} = 130$  кадр/с відповідає режиму, коли система має запас пропускної здатності відносно типових частот відеопотоку (15-30 кадр/с) і здатна обробляти декілька відеопотоків одночасно без росту затримки. Значення  $T_{ref}$  отримано як взаємоузгоджена величина, інверсна до  $FPS_{ref}$ :  $T_{ref} \approx 1000/FPS_{ref}$ , тобто  $T_{ref} \approx 1000/130 \approx 7,69$  мс/кадр. У роботі використане близьке до цього значення  $T_{ref} = 7,27$  мс/кадр, яке відображає цільовий режим із додатковим запасом (більш жорсткий еталон за часом). Зазначена величина забезпечує відтворення інтегральних значень  $E_t$ , зафіксованих у результатах порівняльної оцінки.

Після обчислення  $E_m$  та  $E_t$  за наведеними правилами, інтегральний показник розраховувався для кожного методу окремо, після чого середнє арифметичне значення інтегрального показника по усіх чотирьох методах.

Інтегральний показник ефективності відеомоніторингу для розробленого методу становить 69,2%. Середнє значення інтегрального показника для сукупності розглянутих аналогів становить 37,7%. Перевага інтегрального показника для розробленого методу підтверджує його ефективність для вирішення задачі первинного потокового моніторингу.

Мінімально необхідні умови застосовності методу, які впливають із експериментальних даних полягають в наступному:

1) стабільна ідентифікація особи  $L$  у відеопотоці даних з обов'язковою умовою відсутності об'єднання потоків  $V_L$  в багатоособових ракурсах (у випадку

нестабільної ідентифікації можлива ситуація накладання осіб, що спотворює коефіцієнт девіації  $k_L(t)$ );

2) достатня частота кадрів  $q$  та узгоджений інтервал  $t$ : при низькій частоті кадрів втрачаються короткострокові прояви, при занадто малому інтервалі зростає чутливість до шумових ефектів, при занадто великому інтервалі збільшується затримка реагування на інциденти;

3) спостережуваність класів  $S_1 - S_4$  на інтервалах, оскільки метод розрахований на дослідження при комбінації класів, а тому за умов відсутності одного з класів потребує перекалібрування порогів або компенсації за рахунок інших модальностей;

4) наявність калібрувального сегменту для формування базового профілю та фіксації порогів (без калібрування є загроза потенційно завищених хибно-позитивів або зниження чутливості коефіцієнта девіації);

5) стабільність умов відеофіксації (параметри камери, кута, оптики).

Основні обмеження, які прямо впливають на роботу методу:

1) наявність оклюзій та масок негативно впливає на достовірність  $S_1$  і частково на  $S_3$ , що в умовах реального використання зменшує значення  $F1$ , а механізм  $q_{ij}(t)$  та  $g_i(t)$  не усуває проблему відсутнього класу повністю (лише зменшує вплив);

2) наявність розмитості чи розмитості у русі за умов використання низькоякісної оптики знижують якість виявлення ознак і впливають на стабільність  $\rho_{i,L}(t)$  та  $k_L(t)$ ;

3) перекриття станів, за яких частина невербальних проявів може бути спільною для різних  $P_i$  на первинному рівні може призводити до множинних активацій, що зумовлено неможливістю використання методу для формування медичного висновку, а лише для первинного відбору осіб на інтервалах;

4) чутливість до контекстного дрейфу, який спричинений зміною робочих умов та регламенту поведінки особи, що призводить до зміни базового профілю та може викликати хибні спрацювання та усувається періодичною калібровкою;

5) організаційні та етичні обмеження, що передбачає періодичний аудит  $k_L(t)$  через мінімізовані дані, які зберігаються.

Перелічені обмеження методу не впливають на його працездатність та ефективність, а формують вимоги до умов застосування та обладнання з метою досягнення максимальної ефективності.

## 2.5 Висновки до розділу 2

У другому розділі дисертаційної роботи було вперше розроблено метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану на основі компактної нейромережевої моделі та інтервального узгодження оцінок у потоковому режимі. Метод реалізує перманентний аналіз відеоряду та визначення щільності психологічних функціональних станів за часовий проміжок, що забезпечило відстежування динаміки психологічних функціональних станів співробітників і підвищило ефективність відеомоніторингу психологічних показників. Введення коефіцієнту девіації дозволило забезпечити тригеризацію подальшого глибинного дослідження осіб, а вагові коефіцієнти значущості, визначені на основі факторного аналізу підвищують керованість інтерпретації профілів станів.

1. Сформовано модель вхідних даних відеомоніторингу у потоковому вигляді з виділенням класів невербальних характеристик, простору станів та інтервальних показників, що дозволяє відстежувати динаміку первинних ознак на часових інтервалах.

2. Розроблено та описано у формалізованому метод інтелектуального відеоконтролю, який включає навчання компактної нейромережі, покадрове оцінювання проявів станів, інтервальне агрегування і перехід до коефіцієнтів прояву на основі щільності, що забезпечує стійкість оцінок у потоковому режимі та придатність до безперервного моніторингу. Розроблено структурно-логічну схему методу та алгоритм його роботи.

3. Узгоджено вихідні показники відеоканалу шляхом введення вагових коефіцієнтів значущості, визначених на основі факторного аналізу та коефіцієнта девіації як тригера відхилення від базового профілю, що забезпечує керованість інтерпретації при первинному відборі інтервалів для осіб, що потребують поглибленого аналізу.

4. Проведено експериментальну та порівняльну валідацію розробленого методу з оцінюванням точнісних та ресурсних характеристик у порівнянні з існуючими аналогами. Результати натурного експерименту довели спроможність методу виконувати задачі інструменту первинного безперервного моніторингу в потоковому режимі. На основі інтегрального показника доведено підвищення ефективності потокового комп'ютерного відеомоніторингу психологічних ознак у задачах постійного інтелектуального моніторингу динаміки первинних ознак функціональних станів співробітників при попередженні витоку інформації. Інтегральний показник ефективності становить 69,2%, що на 31,5 відсотковий пункт вище за середнє його значення (37,7%) для чотирьох розглянутих аналогів.



### РОЗДІЛ 3

## МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПСИХОЛІНГВІСТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У ДИНАМІЧНІЙ СИСТЕМІ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ

### 3.1 Модель вхідних даних для формування психолінгвістичних показників та первинного психологічного профілю

У рамках дослідження під психолінгвістичними показниками мається на увазі інформаційно-технологічні індикатори психологічного стану та індивідуально-типологічних особливостей співробітників. Психолінгвістичне дослідження виступає відмінною від відеоаналізу модальністю, що зумовлює потребу використання іншого джерела даних для вимірювання психолінгвістичних показників. Таким джерелом даних виступає письмовий текст, який дозволяє сформувати інформаційний канал для уточнення результатів первинного відеомоніторингу. На відміну від підходу періодичного психологічного моніторингу, який на даний час активно розвивається [67] запропонований у дисертаційному дослідженні підхід є двофазним. Перша фаза передбачає формування первинного психолінгвістичного профілю на основі текстової інформації; друга фаза передбачає уточнення психолінгвістичних показників шляхом глибинного аналізу повторного написаного нового тексту при спрацюванні тригера девіації під час первинного відеомоніторингу. Двофазний підхід та первинний відеомоніторинг вимагає детального розгляду вхідної інформації і формування моделі вхідних даних, на основі якої функціонує представлений у розділі метод.

Психолінгвістичні дані надходять у двох режимах, які відповідають фазам методу. Перша фаза передбачає формування первинного профілю. У якості вхідних даних надходить базовий текст  $T_L^0$ , де  $L$  – індексне позначення співробітника. Базовий текст співробітник створює на початковому етапі співпраці для визначення значень його поточного психолінгвістичних показників. Базовий текст задається як:

$$T_L^0 = \{s_{n,L}^0\}_{n=1}^{N_L^0}, \quad (3.1)$$

де  $s_{n,L}^0$  –  $n$ -те речення;  $N_L^0$  – кількість речень у тексті.

Метою першої фази є отримання індивідуального психолінгвістичного профілю співробітника у вигляді вектора психолінгвістичних коефіцієнтів та вектора їх значущості.

Друга фаза передбачає уточнення після спрацювання тригера під час первинного відеомоніторингу. У якості вхідних даних виступає новий текст  $T_L^{new}(t)$ , сформований після спрацювання тригера девіації на інтервалі  $t$ . Вхідними даними для другої фази також виступають параметри, отримані за рахунок відеомодальності. Новий текст задається аналогічно базовому:

$$T_L^{new}(t) = \{s_{n,L}^{new}(t)\}_{n=1}^{N_L^{new}(t)}. \quad (3.2)$$

У якості керуючих вхідних параметрів для другої фази виступають: вектор інтервальних оцінок прояву станів  $P_L^{vid}(t)$ , вектор ваг значущості станів  $g_L^{vid}(t)$  та коефіцієнт девіації  $k_L(t)$ , визначені у розділі 2. Коефіцієнт девіації  $k_L(t)$  реалізує умову ініціації другої фази глибинного психолінгвістичного аналізу. При настанні умови  $k_L(t) \geq \delta_k$  формується запит на глибинне психолінгвістичне уточнення сформованих під час відеоаналізу первинних вагових коефіцієнтів.

Виходячи з наведених вище положень формуються базові вимоги для моделі вхідних даних, а саме: потреба одночасного формального опису структури текстових даних для вимірювання психолінгвістичних показників; опису параметрів, які надходять від відеомодальності та забезпечують ініціацію глибинного аналізу; забезпечення узгодження розмірності з формалізацією двофазного методу вимірювання психолінгвістичних показників.

Вимірювання психолінгвістичних показників у роботі пропонується забезпечити за рахунок використання трирівневої моделі опису вимірюваних ознак у тексті, який виступає джерелом цих ознак. Трирівневий аналіз передбачає виконання синтаксичного, лексико-семантичного та дискурсного аналізу. Для кожного тексту  $T \in \{T_L^0, T_L^{new}(t)\}$  вводяться три вектори ознак: синтаксичні, лексико-семантичні, дискурсні. Багаторівневий підхід узгоджується з сучасними

задачами визначення текстових маркерів аналізу індивідуальних характеристик, що узгоджується з підходами [68], які враховують динамічний аспект психологічної складової.

До синтаксичних ознак відносяться характеристики когнітивної складності та структури мовлення. Синтаксичні ознаки описуються формулою:

$$S_L(T) = (S_{1,L}(T), \dots, S_{m_S,L}(T)) \in R^{m_S}, \quad (3.3)$$

де  $m_S$  – кількість синтаксичних індикаторів. До синтаксичних індикаторів належать: довжина синтаксичної конструкції, частота появи складних конструкцій, використання імперативу тощо.

До лексико-семантичних ознак відносяться характеристики емоційного забарвлення, лексичного різноманіття, полярності. Лексико-семантичні ознаки описуються формулою:

$$L_L(T) = (L_{1,L}(T), \dots, L_{m_L,L}(T)) \in R^{m_L}. \quad (3.4)$$

До дискурсних ознак відносяться характеристики когерентності, зв'язності та логічної єдності. Дискурсні ознаки описуються формулою:

$$D_L(T) = (D_{1,L}(T), \dots, D_{m_D,L}(T)) \in R^{m_D}. \quad (3.5)$$

Ознаки  $S_L(T)$ ,  $L_L(T)$  та  $D_L(T)$  є вимірюваними характеристиками тексту і виступають у ролі вхідних змінних. Ознаки  $S$ ,  $L$  та  $D$  є первинно виміряними характеристиками цього тексту. Зведений ознаковий опис представлений:

$$z_L(T) = [S_L(T), L_L(T), D_L(T)] \in R^{m_S+m_L+m_D}. \quad (3.6)$$

Важливо наголосити, що у текстовій модальності вводяться тотожні значення, які не є рівними відеомодальності. Агрегованими індикаторами, що формують профіль у текстовій модальності виступають психолінгвістичні коефіцієнти  $p_{i,L}^l$ . У профілі та при інтеграції з іншими модальностями використовуються вагові коефіцієнти  $g_i^l$ .

У текстовій модальності для вимірювання розглядається  $M$  психолінгвістичний показників. Допускається, що кількість психолінгвістичних показників не дорівнює кількості відеопоказників. Така ситуація зумовлена описом психологічних станів відмінних від зовнішніх проявів. Кореляція психологічних

станів відео та текстової модальностей формалізується у представленні методу в наступних підрозділах через керуючі параметри та регресійне узгодження. Психолінгвістичні показники є важливими вхідними даними для другої фази методу.

Психолінгвістичні коефіцієнти для співробітника  $L$  при аналізі тексту  $T$  задаються вектором:

$$P_L^{ling}(T) = (p_{1,L}^l(T), \dots, p_{M,L}^l(T)) , \quad (3.7)$$

де кожен коефіцієнт  $p_{i,L}^l(T) \in R$  формується у результаті трирівневого аналізу.

З метою забезпечення єдності нотації, вводиться вектор ваг рівнів для  $i$ -го коефіцієнта:

$$w_i = (w_i^S, w_i^L, w_i^D), \text{ при } w_i^S + w_i^L + w_i^D = 1, \quad w_i^S, w_i^L, w_i^D \geq 0 . \quad (3.8)$$

Узгоджена модель інтеграції результатів трирівневого аналізу тексту представлена у вигляді:

$$p_{i,L}^l(T) = w_i^S \Phi_i^S(S_L(T)) + w_i^L \Phi_i^L(L_L(T)) + w_i^D \Phi_i^D(D_L(T)) , \quad (3.9)$$

де  $\Phi_i^S(\cdot)$ ,  $\Phi_i^L(\cdot)$ ,  $\Phi_i^D(\cdot)$  – відображення ознак відповідного рівня у внесок до  $i$ -го психолінгвістичного коефіцієнта. Можуть бути реалізовані як лінійні згортки чи регресійні перетворення. Конкретизація механізму реалізації наводиться у 3.2.

Для визначення вагового коефіцієнту  $w_i$  проводиться калібрувальна процедура, аналогічна процедурі у відеомодальності. Для калібрувального набору  $\Omega_{cal}$  задаються референтні (еталонні) значення психолінгвістичних коефіцієнтів  $\bar{p}_{i,L}^{ref}$ . Такі значення отримуються в ході контрольованої процедури психометричного вимірювання на початкових етапах роботи зі співробітником. Ваги  $w_i$  визначаються через мінімізацію середньоквадратичної похибки за формулою:

$$w_i^* = \arg \min \frac{1}{|\Omega_{cal}|} \sum_{(L,T) \in \Omega_{cal}} (\bar{p}_{i,L}^{ref} - p_{i,L}^l(T))^2 , \quad (3.10)$$

при виконанні умов (3.8).

Після проведення калібрувальної процедури фіксуються значення  $w_i^*$  з метою забезпечення відтворюваності під час подальшої експериментальної перевірки.

Окрім значень психолінгвістичних коефіцієнтів для керованої інтерпретації проводиться формування вектору ваг значущості коефіцієнтів за формулою:

$$g_L^{ling}(T) = (g_{1,L}^l(T), \dots, g_{M,L}^l(T)), \quad (3.11)$$

де  $g_{i,L}^l(T) \in [0,1]$ .

Вагові коефіцієнти  $g_L^l$  використовуються для відображення відносної значущості окремих психолінгвістичних показників для первинного психологічного профілю працівника. Використовуються  $g_L^l$  для узгодження відео та текстової модальностей. Визначаються вагові коефіцієнти з використанням факторного аналізу за аналогією з коефіцієнтами відеомодальності. У моделі вхідних даних фіксується наявність матриці факторних навантажень саме в контексті текстової модальності:

$$C^{ling} = \{c_{i,m}^l\}, \text{ при } i = \overline{1, M}, m = \overline{1, M_f}, \quad (3.12)$$

де  $M_f$  – кількість виділених факторів;  $c_{i,m}^l$  – факторне навантаження  $i$ -го коефіцієнта на  $m$ -й фактор.

Для нотаційного узгодження з логікою методу (підрозділ 3.2) вводиться коефіцієнт активації  $q_{i,m}^l(T)$  у вигляді бінарної форми. У базовій постановці використовується нормована згортка:

$$g_{i,L}^l(T) = \frac{\sum_{m=1}^{M_f} q_{i,m}^l(T) c_{i,m}^l}{\sum_{r=1}^M \sum_{m=1}^{M_f} q_{r,m}^l(T) c_{r,m}^l}, \quad (3.13)$$

за умови  $\sum_{r=1}^M \sum_{m=1}^{M_f} q_{r,m}^l(T) c_{r,m}^l \neq 0$  при  $\sum_{i=1}^M g_{i,L}^l(T) = 1$ .

Наведена нормалізація забезпечує інтерпретованість ваг у формі розподілу значущості та формує основу для подальшого вагового узгодження модальностей у підрозділі 3.3.

Первинний психологічний профіль співробітника в моделі вхідних даних визначається як пара векторів:

$$H_L^0 = (P_L^{ling}(T_L^0), g_L^{ling}(T_L^0)). \quad (3.14)$$

Функція первинного психологічного профілю полягає у формуванні психологічного еталону з метою подальшого уточнення у другій фазі. Використовується для відстеження змін деперсоналізованих показників, що

концептуально узгоджується з сучасними напрямками оцінювання психологічних характеристик на основі мовних даних [69] з урахуванням динаміки станів [70].

Важливо наголосити, що  $H_L^0$  використовується у ролі індикаторної характеристики інформаційно-технологічної системи моніторингу, а не як джерело клінічних висновків.

Вхідні параметри другої фази методу пов'язані з вихідними даними відеомодальності. Тоді як перша фаза застосовується для формування первинного психологічного профілю співробітника, друга активується лише у тих випадках, коли коефіцієнт девіації  $k_L(t)$  первинного відеомоніторингу перевищує поріг та виступає у ролі тригера активації. На вхід другої фази методу, який відповідає за текстову модальність передаються два показника з відеомодальності: інтервально агреговані оцінки проявів станів  $P_L^{vid}(t)$  та ваги значущості станів  $g_L^{vid}(t)$ .

Сукупність вхідних даних другої фази для співробітника  $L$  на інтервалі  $t$  задається формулою:

$$U_L^{ph2}(t) = (T_L^{new}(t), H_L^0, P_L^{vid}(t), g_L^{vid}(t), k_L(t)) . \quad (3.15)$$

Вхідний текст  $T_L^{new}(t)$  забезпечує поточний ітеративний текстовий аналіз,  $H_L^0$  – врахування базового профілю,  $P_L^{vid}(t)$  та  $g_L^{vid}(t)$  забезпечує урахування контексту відеомоніторингу,  $k_L(t)$  виступає тригерним параметром запуску глибинного дослідження.

Для подальшого узгодження модальностей у підрозділі 3.3 вводяться міри надійності / достовірності оцінок у кожній модальності. Формальні правила обчислення таких мір і використання у ф'южн моделі наводяться у підрозділі 3.3.

### **3.2 Формалізоване представлення двофазного методу вимірювання психолінгвістичних показників та алгоритм його роботи**

Представлений у розділі 3 метод вимірювання психолінгвістичних показників призначений для уточнення отриманих за рахунок первинного відеоконтролю даних шляхом глибинного психолінгвістичного аналізу за умов регресійного узгодження з

результатами відеоконтролю. Він функціонує на засадах двофазного вимірювання, де перша фаза забезпечує формування первинного психолінгвістичного профілю, а друга відповідає за уточнення шляхом повторного психолінгвістичного аналізу. Метод ґрунтується на вхідних даних, характерних для обох фаз його функціонування та вихідних даних первинного відеоконтролю, модель яких наведено у підрозділі 3.1. Ключовий науковий результат із структурою методу та його валідацією представлено у статті [71]. Даний підрозділ присвячений опису формальних перетворень і правил обчислень відповідно до структурно-логічної схеми методу (рис. 3.1).

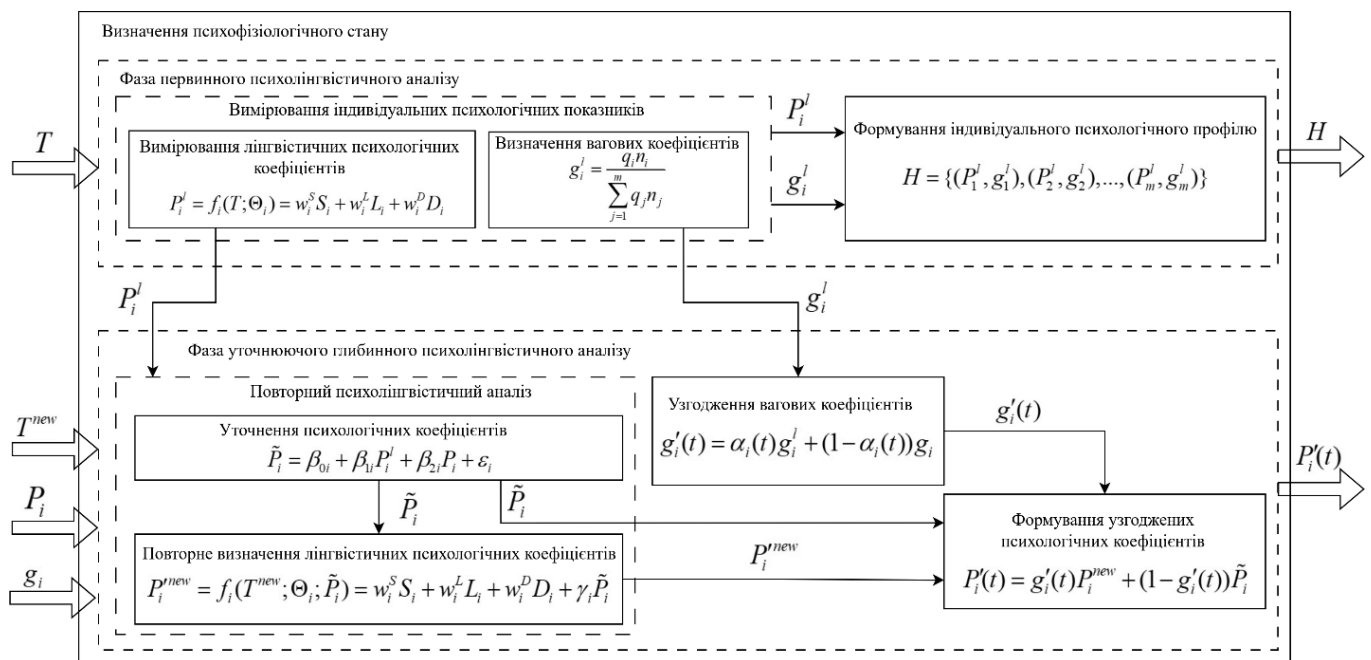


Рисунок 3.1 – Структурно-логічна схема методу інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників

Для уникнення неоднозначності позначень фіксується, що на рисунку 3.1 величини  $P_i^l$ ,  $g_i^l$ ,  $H$ ,  $\tilde{P}_i$  та  $P_i^{new}$  відповідають коефіцієнтам та вагам текстової модальності  $p_{i,L}^l(\cdot)$ ,  $g_{i,L}^l(t)$ , профілю  $H_L$ , уточненим значенням  $\tilde{p}_{i,L}(t)$  та повторно визначеним значенням  $p_{i,L}^{l,new}(t)$ .

У підрозділі 3.1 зазначалось, що психолінгвістичні коефіцієнти визначаються шляхом трирівневого аналізу тексту з використанням відображень  $\Phi_i^S(\cdot)$ ,  $\Phi_i^L(\cdot)$ ,  $\Phi_i^D(\cdot)$ . У даному підрозділі наводиться їх конкретизація в узгодженій формі, достатній для формалізованого представлення.

Для співробітника  $L$  і тексту  $T \in \{T_L^0, T_L^{new}(t)\}$  у підрозділі 3.1 визначені вектори ознак:  $S_L(T) \in R^{m_s}$ ,  $L_L(T) \in R^{m_L}$ ,  $D_L(T) \in R^{m_D}$ . Для кожного психолінгвістичного коефіцієнту  $i = \overline{1, M}$  агреговані індикатори рівнів визначаються як відображення відповідних векторів ознак:

$$S_{i,L}(T) = \Phi_i^S(S_L(T)), L_{i,L}(T) = \Phi_i^L(L_L(T)), D_{i,L}(T) = \Phi_i^D(D_L(T)) . \quad (3.16)$$

У базовій реалізації, що узгоджена з логікою регресійної калібрувальної процедури (підрозділ 3.1) відображення  $\Phi$  задаються як лінійні згортки або лінійно-регресійні перетворення:

$$\Phi_i^S(S_L(T)) = \langle a_i^S, S_L(T) \rangle, \Phi_i^L(L_L(T)) = \langle a_i^L, L_L(T) \rangle, \Phi_i^D(D_L(T)) = \langle a_i^D, D_L(T) \rangle , \quad (3.17)$$

де  $a_i^S \in R^{m_s}$ ,  $a_i^L \in R^{m_L}$ ,  $a_i^D \in R^{m_D}$  – параметри відображень, які формують внесок відповідного рівня в  $i$ -й коефіцієнт.

Лінійна форма відображень  $\Phi$  використовується у якості базової інтерпретованої реалізації. За потреби в інформаційній системі, яка реалізує метод, допускається її заміну на нелінійні перетворення без зміни загальної логіки методу.

Сукупність параметрів  $\theta_i = \{a_i^S, a_i^L, a_i^D\}$  визначає реалізацію відображення  $f_i(\cdot)$  для  $i$ -го коефіцієнту. Тоді  $i$ -й психолінгвістичний коефіцієнт на інтервалі у текстовій модальності для  $i \in \{1, \dots, M\}$  визначається як зважена інтеграція трьох рівнів аналізу за формулою (3.9). Параметри  $\theta_i$  визначаються на навчальному / калібрувальному наборі та в подальшому фіксуються при виконанні експериментальної перевірки (підрозділ 3.4).

Метод складається з двох фаз: фази первинного психолінгвістичного аналізу та фази уточнюючого глибинного психолінгвістичного аналізу. Перша фаза включає етапи вимірювання індивідуальних психологічних показників (вимірювання психологічних коефіцієнтів, визначення вагових коефіцієнтів) та формування індивідуального психологічного профілю. Друга фаза включає етапи повторного



психолінгвістичного аналізу (уточнення психолінгвістичних коефіцієнтів, повторне визначення лінгвістичних психологічних коефіцієнтів), узгодження вагових коефіцієнтів та формування узгоджених психологічних коефіцієнтів.

Етап вимірювання психолінгвістичних коефіцієнтів обчислення коефіцієнтів для базового тексту  $T_L^0$  з урахуванням формул (3.9), (3.16), (3.17) передбачає:

$$p_{i,L}^l(T) = f_i(T, \theta_i) = w_i^S S_{i,L}(T) + w_i^L L_{i,L}(T) + w_i^D D_{i,L}(T) . \quad (3.18)$$

Визначення вагових коефіцієнтів виконується через вектор їх значущості  $g_{i,L}^l(T_L^0)$  з метою керованої інтерпретації. Вектор значущості задається у підрозділі 3.1 через факторну структуру шляхом використання матриці навантажень  $C^{ling}$  та бінарні індикатори активації  $q_{i,m}^l(T)$ . Визначення ваг проводиться за узгодженою з підрозділом 3.1 формою. Індикатори активації  $q_{i,m}^l(T)$  формуються за результатом факторного аналізу як бінарні ознаки належності відповідного фактора  $i$ -му коефіцієнту. Конкретні критерії бінаризації, до яких належать поріг навантаження, топ- $k$  факторів тощо, фіксуються в експериментальній частині для забезпечення відтворюваності. Для наочності представлення розгорнутого вигляду обчислень (3.13) подається агреговане представлення для вагових величин, що описується формулою:

$$g_{i,L}^l(T) = \frac{\tilde{q}_i^l n_i(T)}{\sum_{r=1}^M \tilde{q}_r^l n_r(T)} . \quad (3.19)$$

де  $\tilde{q}_i^l n_i(T) = \sum_{m=1}^{M_f} q_{i,m}^l(T) c_{i,m}^l$  – агрегований активований внесок  $i$ -го коефіцієнта.

Етап визначення первинного психологічного профілю співробітника  $L$  формується за узгодженням з формулою (3.14) у вигляді пар векторів:

$$H_L = ((P_{1,L}^{ling}(T_L), g_{1,L}^{ling}(T_L)), (P_{2,L}^{ling}(T_L), g_{2,L}^{ling}(T_L)), \dots, (P_{m,L}^{ling}(T_L), g_{m,L}^{ling}(T_L))) . \quad (3.20)$$

Профіль  $H_L$  як і інші показники не призначений для формування медичних висновків і використовується виключно в ролі інформаційно-технологічного еталону, що узгоджується з підходами комп'ютеризованого аналізу тексту в психологічних задачах [72].

Друга фаза методу активується лише за настання умов, при яких спрацьовує тригер коефіцієнта девіації  $k_L(t) \geq \delta_k$ . Передача даних з відеомодальності отриманих, в результаті застосування первинного відеомоніторингу ( $P_L^{vid}(t)$  та  $g_L^{vid}(t)$ ) саме на цей етап зумовлює вимогу формалізації процесу кореляції психологічних коефіцієнтів відео та текстової модальностей. Деталізація процесу уточнення подається в підрозділі 3.3. У даному підрозділі формується представлення корелятивного зв'язку. Вводиться скалярна відео-оцінка, що відповідає  $i$ -му психолінгвістичному коефіцієнту:

$$\hat{p}_{i,L}^{vid}(t) = \bar{\Psi}_i(P_L^{vid}(t), g_L^{vid}(t)) , \quad (3.21)$$

де  $P_L^{vid}(t)$  і  $g_L^{vid}(t)$  – результати обробки у відеомодальності;  $\bar{\Psi}_i(.)$  – відображення з простору відео-оцінок у простір  $i$ -го психолінгвістичного показника.

Відображення  $\bar{\Psi}_i(.)$  виконує приведення виходів відеомодальності ( $P_L^{vid}(t), g_L^{vid}(t)$ ) до скалярної оцінки, співставної за шкалою з  $i$ -м психолінгвістичним коефіцієнтом. Завдяки цьому  $\hat{p}_{i,L}^{vid}(t)$  є формальним аналогом величини  $P_i$  (рис. 3.1) для узгодження модальностей.

Завдяки застосуванню формули (3.21) забезпечується кореляція модальностей через керуючі параметри, що забезпечує формальну основу для регресійного узгодження в підрозділі 3.3.

Для узгодження розмірностей та встановлення однозначного зв'язку між показниками психологічних станів у текстовій та відеомодальності формується множина відповідностей:

$$R^* \subseteq \{1, \dots, M\} \times \{1, \dots, J\} , \quad (3.22)$$

де  $M$  – кількість психолінгвістичних коефіцієнтів;  $J$  – кількість психологічних функціональних станів, які визначаються у відеомодальності.

Пара  $(i, j) \in R^*$  означає, що відеооцінки  $j$ -го стану використовуються як релевантні складові для формування  $\hat{p}_{i,L}^{vid}(t)$  у шкалі  $i$ -го психолінгвістичного коефіцієнту. У базовій реалізації  $\bar{\Psi}_i(.)$  залежить лише від наступної підмножини:  $\{P_{j,L}^{vid}, g_{j,L}^{vid}\} | (i, j) \in R^*$  і може бути задана як нормована зважена агрегація таких

оцінок. Для формалізованого представлення методу достатньою умовою є коректність відображення  $\hat{p}_{i,L}^{vid}(t)$  у простір значень психолінгвістичного показника.

Уточнення психолінгвістичних коефіцієнтів в рамках етапу повторного психолінгвістичного аналізу другої фази методу описується лінійною регресійною моделлю:

$$\tilde{p}_{i,L}(t) = \beta_{0i} + \beta_{1i}p_{i,L}^l(T_L^0) + \beta_{2i}\hat{p}_{i,L}^{vid}(t) + \varepsilon_{i,L}(t) , \quad (3.23)$$

де  $\tilde{p}_{i,L}(t)$  – узгоджене значення  $i$ -го показника на інтервалі  $t$ ;  $\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}$  – параметри регресійної моделі;  $\varepsilon_{i,L}(t)$  – похибка.

Дана регресійна модель відноситься до типу регресійних моделей, що є стандартним інструментом оцінювання внеску предикторів та калібрування зв'язків між показниками [73].

Параметри  $\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}$  оцінюються на калібрувальному наборі  $\Omega_{reg}$  за процедурою найменших квадратів або робастною регресією (у разі наявності викидів). У базовій постановці параметри розглядаються як спільні для усього класу персоналу, що можна вважати глобальною регресією. Персоналізована оцінка параметрів для кожного окремого  $L$  може застосовуватись як варіант удосконалення за умов наявності достатньої для такого удосконалення кількості даних.

У подальшому  $\hat{p}_{i,L}^{vid}(t)$  інтерпретується як відео-оцінка, приведена до шкали  $i$ -го психолінгвістичного показника;  $\tilde{p}_{i,L}(t)$  інтерпретується як узгоджене через регресійне уточнення значення на інтервалі  $t$ ; а  $p_{i,L}^{l,new}(t)$  як повторно виміряне значення за новим текстом з урахуванням уточнення (уточнення результатів первинного профілю).

Повторний психолінгвістичний аналіз з метою повторного визначення психолінгвістичних коефіцієнтів у новому тексті з урахуванням уточнення виконується за трирівневою моделлю. Визначення  $i$ -го коефіцієнту здійснюється наступним чином:

$$p_{i,L}^{l,new}(t) = f_i(T^{new}, \theta_i, \tilde{p}_{i,L}(t)) = w_i^S S_{i,L}(T^{new}) + w_i^L L_{i,L}(T^{new}) + w_i^D D_{i,L}(T^{new}) + \gamma_i \tilde{p}_{i,L}(t) , \quad (3.24)$$

де  $\gamma_i$  – коефіцієнт впливу регресійного узгодження значення  $\tilde{p}_{i,L}(t)$  на повторну оцінку  $i$ -го психолінгвістичного коефіцієнта.

Уточнення забезпечується за рахунок зв'язування базового профілю  $p_{i,L}^l(T_L^0)$  з відеооцінкою  $\hat{p}_{i,L}^{vid}(t)$  та новим текстом  $T_L^{new}$ .

Величина  $p_{i,L}^{l,new}(t)$  разом з  $\tilde{p}_{i,L}(t)$ , ваговими коефіцієнтами відеомодальності  $g_L^{vid}(t)$  та базовими ваговими коефіцієнтами текстової модальності  $g_L^{ling}(T_L^0)$  дозволяють сформувати вхідні величини для подальшого узгодження модальностей. Узгодження вагових коефіцієнтів між текстовою і відеомодальністю та формування інтервально узгоджених психолінгвістичних коефіцієнтів виконується у підрозділі 3.3. Ф'южн-узгодження винесено у підрозділ 3.3 з метою уникнення змішування регресійного узгодження з механізмом адаптивної ф'южн-інтеграції. Методологічне підґрунтя багаторівневого аналізу мовних ознак узгоджено з сучасними досягненнями науки і техніки [74]. Вхідні дані для мультимодального узгодження формуються з огляду на подальше використання адаптивної ф'южн моделі з урахуванням поточної достовірності модальностей. Така необхідність зумовлена потребами, сформованими у сучасних напрямках мультимодального моніторингу психічного стану [75].

Алгоритм роботи методу інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників (блок-схема наведена у додатку Б на рисунку Б.2) передбачає наступні кроки:

- 1) отримання базового тексту  $T_L^0$  для співробітника  $L$ ;
- 2) обчислення для  $i \in \{1, \dots, M\}$  значення  $p_{i,L}^l(T_L^0)$ ;
- 3) обчислення значущості  $g_{i,L}^l(T_L^0)$ ;
- 4) формування первинного психологічного профілю  $H_L$  та фіксація його як еталонного;
- 5) у процесі безперервного відеомоніторингу отримання результатів відеомодальності  $P_L^{vid}(t)$  та  $g_L^{vid}(t)$ , здійснюючи при цьому контроль коефіцієнта девіації  $k_L(t) \geq \delta_k$  як тригера;
- 6) продовження моніторингу у випадку відсутності спрацьовування тригера;
- 7) отримання нового тексту  $T_L^{new}$  у випадку спрацювання тригера;
- 8) формування для  $i \in \{1, \dots, M\}$  відеооцінки  $\hat{p}_{i,L}^{vid}(t)$ ;

9) виконання регресійного уточнення  $\tilde{p}_{i,L}(t)$ ;

10) проведення повторного визначення  $p_{i,L}^{l,new}(t)$ ;

11) передача  $p_{i,L}^{l,new}(t)$  та пов'язаних величин для подальшого узгодження коефіцієнтів різних модальностей та отримання інтегрально узгоджених психолінгвістичних показників;

12) оновлення результатів при переході до наступних інтервалів спостереження  $t$  у відповідності до логіки безперервного моніторингу.

### 3.3 Адаптивна ф'южн-модель узгодження вагових коефіцієнтів

Основна задача методу інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників полягає у глибинному дослідженні працівника  $L$  у випадку спрацювання тигеру коефіцієнта девіації. Результат глибинного аналізу націлений на коригування отриманих психологічних коефіцієнтів в результаті первинного відеоаналізу. Важливим етапом для досягнення поставленої задачі є формування чіткого механізму узгодження вагових коефіцієнтів відео та текстової модальностей за рахунок адаптивної ф'южн-моделі. У результаті узгодження вагових коефіцієнтів значущості між модальностями відбувається формування інтегрально узгоджених показників. Застосування адаптивної ф'южн-моделі передбачає зміну параметру узгодження у часі відповідно до поточної достовірності (узгодженості) каналів спостереження (модальностей).

Відеомодальність формує ваги значущості для  $J$  психологічних функціональних станів  $g_{j,L}^{vid}(t)$ , а текстова модальність – для  $M$  психолінгвістичних коефіцієнтів  $g_{i,L}^{ling}(T_L^0)$ . Приведення ваг відеомодальності до індексації  $\{1, \dots, M\}$  виконується з використанням  $R^*$ . Для кожного  $i \in \{1, \dots, M\}$  вводиться агрегована вага відеомодальності у просторі психолінгвістичних коефіцієнтів:

$$\bar{g}_{i,L}^{vid \rightarrow ling}(t) = \frac{\sum_{(i,j) \in R^*} g_{j,L}^{vid}(t)}{\sum_{r=1}^M \sum_{(r,j) \in R^*} g_{j,L}^{vid}(t)}, \quad (3.25)$$

де  $\sum_{r=1}^M \bar{g}_{i,L}^{vid \rightarrow ling}(t) = 1$ .

Такий запис відображає агреговане представлення приведення ваг. Форма запису не вводить додаткових параметрів та забезпечує нотаційне узгодження з множиною відповідностей  $R^*$ .

Для адаптивного балансування внеску модальностей вводиться коефіцієнт узгодження  $\lambda_{i,L}(t) \in [0,1]$ , який визначається за поточною узгодженістю скалярної відео-оцінки  $\hat{p}_{i,L}^{vid}(t)$  та повторно виміряного текстового значення  $p_{i,L}^{(l,new)}(t)$ .

Вводиться міра розходження (похибки узгодження) для  $i$ -го показника:

$$\Delta_{i,L}(t) = (p_{i,L}^{l,new}(t) - \hat{p}_{i,L}^{vid}(t))^2. \quad (3.26)$$

Вводиться оцінка  $\sigma_{i,L}^2(t)$  як міра мінливості (невизначеності) текстового каналу для  $i$ -го психолінгвістичного показника на інтервалі  $t$ . Дана оцінка обчислюється за історією значень  $p_{i,L}^{l,new}(\cdot)$  на ковзному вікні безперервного моніторингу. Чим вище значення  $\sigma_{i,L}^2(t)$ , тим більша варіативність (менша стабільність) текстової оцінки в поточний момент часу. Для уникнення ситуації ділення на нуль, вводиться малий додатний параметр  $\varepsilon > 0$ .

Коефіцієнт узгодження задається у вигляді дробово-раціональної функції, що монотонно спадає на  $\Delta_{i,L}(t)$ :

$$\lambda_{i,L}(t) = \frac{\sigma_{i,L}^2(t) + \varepsilon}{\sigma_{i,L}^2(t) + \Delta_{i,L}(t) + \varepsilon}, \quad (3.27)$$

за умови, що  $0 \leq \lambda_{i,L}(t) \leq 1$ .

Таке визначення забезпечує зростання  $\lambda_{i,L}(t)$  за умов зменшення поточного розходження між модальностями. При зростанні розходження між модальностями  $\Delta_{i,L}(t)$  значення  $\lambda_{i,L}(t)$  зменшується. Дана властивість реалізує адаптивне зміщення ваг у бік модальності, яка забезпечує більш узгоджене та стабільне спостереження в даний момент часу. За умов малої розбіжності між модальностями  $\Delta_{i,L}(t)$ , коефіцієнт  $\lambda_{i,L}(t)$  наближається до 1. За умов значної неузгодженості між модальностями коефіцієнт зменшується в напрямку 0. Завдяки цьому досягається підсилення внеску відео-оцінки.

Узгоджені вагові коефіцієнти значущості для психолінгвістичних показників при  $i \in \{1, \dots, M\}$  визначаються як адаптивна комбінація базових текстових вагових значень та приведених відео вагових значень:

$$\tilde{g}_{i,L}(t) = \lambda_{i,L}(t)g_{i,L}^{ling}(T_L^0) + (1 - \lambda_{i,L}(t))\tilde{g}_{i,L}^{vid \rightarrow ling}(t) . \quad (3.28)$$

З метою збереження інтерпретованості у вигляді розподілу значущості застосовується нормування:

$$g_{i,L}^{fus}(t) = \frac{\tilde{g}_{i,L}(t)}{\sum_{r=1}^M \tilde{g}_{r,L}(t)} , \quad (3.29)$$

де  $\sum_{r=1}^M g_{i,L}^{fus}(t) = 1$ .

Реалізація адаптивного узгодження вагових коефіцієнтів відповідно до поточної узгодженості каналів через  $\lambda_{i,L}(t)$  забезпечується формулами (3.28) – (3.29).

Окрім узгоджених вагових значень для  $i$ -го психолінгвістичного показника формується інтегрально узгоджене значення в єдиній шкалі. Узгоджене значення для  $i \in \{1, \dots, M\}$  представлено у вигляді адаптивного поєднання повторно виміряного текстового коефіцієнта та приведеної відео-оцінки:

$$p_{i,L}^{fus}(t) = \lambda_{i,L}(t)p_{i,L}^{l,new}(t) + (1 - \lambda_{i,L}(t))\hat{p}_{i,L}^{vid}(t) . \quad (3.30)$$

Вектор інтегральних психолінгвістичних коефіцієнтів на інтервалі  $t$  задається наступним чином:

$$P_L^{fus}(t) = (p_{1,L}^{fus}(t), \dots, p_{M,L}^{fus}(t)) . \quad (3.31)$$

Що стосується узгодженого вектору ваг на інтервалі  $t$ , то він задається аналогічним чином:

$$g_L^{fus}(t) = (g_{1,L}^{fus}(t), \dots, g_{M,L}^{fus}(t)) . \quad (3.32)$$

Отримані величини  $P_L^{fus}(t)$  та  $g_L^{fus}(t)$  є вхідними до ф'южн-контуру методу та використовуються у складі загальної логіки безперервного моніторингу. Динамічна корекція вагових коефіцієнтів на основі адаптивної ф'южн-моделі забезпечує властивість інтелектуалізації. Така властивість проявляється у здатності автоматичної зміни вагових коефіцієнтів. Практичну складову величин відображено в наступному підрозділі в розрізі експериментальної валідації методу.

### 3.4 Експериментальна та порівняльна перевірка методу інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників. Умови застосовності та обмеження

Експериментальна перевірка методу інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників проводилась з метою оцінювання точності запропонованого методу в задачах безперервного мультимодального моніторингу психологічного стану персоналу. Важливим аспектом експериментального та порівняльного аналізу було виявлення умов застосовності методу та його обмежень.

Для необхідного валідаційного охоплення було проведено:

- 1) моделювання багатосуб'єктного сценарію безперервного спостереження з урахуванням динамічної зміни кадрового складу;
- 2) калібрування параметрів  $\theta_i$ , регресійних коефіцієнтів  $\beta_{0i}$ ,  $\beta_{1i}$ ,  $\beta_{2i}$  та адаптивної ф'южн-моделі на калібрувальному наборі;
- 3) порівняння точності методу з сучасними аналогами;
- 4) оцінку відтворюваності результатів за заданих умов;
- 5) формулювання умов застосовності та обмежень методу.

Валідація методу була проведена у формі симуляційного експерименту. Симуляція виконана в середовищі Python 3.11 з використанням бібліотек NumPy, Pandas та scikit-learn.

Для забезпечення відтворюваності симуляційного експерименту було зафіксовано описані нижче умови.

Для відтворення безперервного моніторингу психологічного стану персоналу було змодельовано 213 унікальних суб'єктів (співробітників), з яких одночасно активними були від 120 до 166 осіб. Завдяки цьому була досягнута імітація динамічної зміни кадрового складу. Загальна кількість спостережень становила 9000 інтервалів часу.

Для кожного спостереження моделювались: істинні особистісні коефіцієнти  $u_{i,L}$  для  $M$  психолінгвістичних показників (застосовувався латентний вектор рис особистості в шкалі  $[0;1]$ ); результати текстової модальності  $p_{i,L}^l(t)$  з додаванням



випадкового шуму (нормальний розподіл із нульовим середнім та дисперсією, яка не перевищує 5% діапазону варіації показника); результати відеомодальності  $P_L^{vid}(t)$ ,  $g_L^{vid}(t)$  з урахуванням більшої варіативності (шум до 8-10% діапазону), що відображає типову ситуацію з нижчими показниками стабільності у відео модальності. Для активації другої фази методу моделювався коефіцієнт девіації  $k_L(t)$  з порогом  $\delta_k = 0,6$ . Поріг відповідає значенню, яке було використано при побудові часових характеристик у розділі 2, що узгоджує умови натурного та симуляційного експериментів. При настанні умови  $k_L(t) \geq \delta_k$  генерувався новий текст  $T_L^{new}(t)$  і запускався повторний психолінгвістичний аналіз.

Параметри  $\theta_i = \{a_i^S, a_i^L, a_i^D\}$  оцінювались на навчальному наборі  $\Omega_{train}$ . Навчальний набір містив 70% спостережень, обраних випадковим чином. Для кожного  $i$ -го показника виконувалась лінійна регресія. Параметри та ваги оцінювались методом найменших квадратів з умовами нормування (3.8). Після калібрування значення  $\theta_i$  фіксувались і надалі не змінювались з метою забезпечення відтворюваності симуляційного експерименту.

На етапі формування вагових коефіцієнтів значущості  $g_{i,m}^l(T)$  для текстової модальності виконувався факторний аналіз над матрицею психолінгвістичних коефіцієнтів. Кількість факторів  $M_f$  обиралась за критерієм значень  $\lambda_m > 1$ . Для кожного  $i$ -го коефіцієнта та  $m$ -го фактора вводився бінарний фактор активації. Якщо факторне навантаження було не менше 0,4, то індикатору активації присвоювалось значення 1, в інакшому випадку 0. Поріг 0,4 забезпечує збереження лише факторів із середньою та високою інформативністю.

Параметри регресійних моделей  $\beta_{0i}$ ,  $\beta_{1i}$ ,  $\beta_{2i}$  оцінювались на калібрувальному наборі  $\Omega_{reg} \subset \Omega_{train}$ . У калібрувальний набір входили спостереження з активованою другою фазою. Оцінювання здійснювалось шляхом застосування методу найменших квадратів. У випадку наявності викидів застосовувалась робастна регресія з Huber-втраатами. Отримані параметри фіксувались у всіх симуляціях.

Перед обчисленням міри розходження  $\Delta_{i,L}(t)$  значення  $p_{i,L}^{l,new}(\cdot)$  та  $\hat{p}_{i,L}^{vid}(t)$  масштабувались у діапазоні від 0 до 1 за мін/макс нормалізацією на навчальному

наборі. Оцінка дисперсії обчислювалась на ковзному вікні розміром 10 інтервалів спостереження. Вікно відповідає інтервалу приблизно 15-20 с у часовій шкалі експерименту. Малий додатний параметр  $\varepsilon$  зафіксовано на значенні  $10^{-3}$ . Завдяки цьому забезпечено коректну роботу адаптивного коефіцієнта узгодження на всьому діапазоні значень.

Під час експериментальної перевірки для змодельованих спостережень оцінювались наступні метрики: RMSE – середньоквадратична похибка; MAE – середня абсолютна похибка;  $R^2$  – коефіцієнт детермінації; відсоткова частка хибнопозитивних (FP) та хибнонегативних (FN) спрацювань щодо зміни індивідуальних психологічних характеристик.

Для загальної оцінки точності було використано інтегральний показник оцінки:

$$I_{acc} = 1 - \frac{\omega_1 \cdot RMSE + \omega_2 \cdot MAE + \omega_3 \cdot (FP + FN) / 2}{3} + \omega_4 \cdot R^2. \quad (3.33)$$

де  $\omega_1 = 0,3$ ;  $\omega_2 = 0,3$ ;  $\omega_3 = 0,2$ ;  $\omega_4 = 0,2$ .

Інтегральний показник точності для розробленого методу складав 0,935.

За визначених та зафіксованих умов результати експерименту відтворюються з відхиленням значення інтегрального показника не більше ніж на 1-2% при повторних запусках. Відхилення 1-2% при повторних запусках зумовлені стохастичною природою генерації даних, при цьому загальна відтворюваність інтегрального показника зберігається в зазначених межах

Перевірка відтворюваності показана на рисунку 3.2. Графік сформовано засобами Python з використанням бібліотеки Matplotlib за даними отриманими в результаті симуляції. На графіку приводиться значення  $I_{acc}$  для 30 незалежних повторів симуляційного експерименту за незмінних параметрів методу та умов моделювання. Суцільною лінією показано середнє  $\bar{I}_{acc}$ , пунктиром позначені межі  $\pm 2\%$ . Графік підтверджує відтворюваність результатів у межах 1-2% за рахунок стохастичної природи генерації даних. Значення доводять стабільність інтегрального показника.

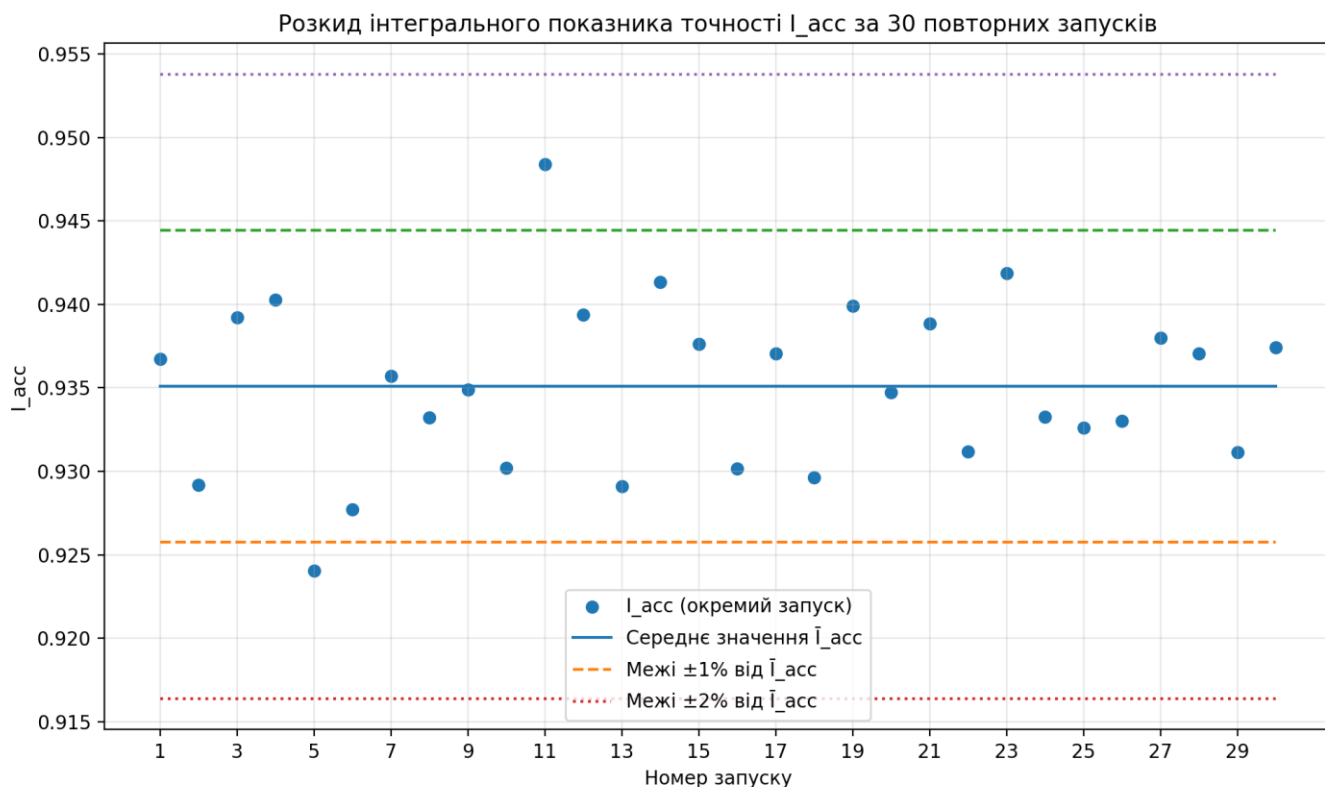


Рисунок 3.2 – Розкид інтегрального показника точності розробленого методу для 30 запусків симуляції

Для забезпечення порівняльної перевірки було обрано три найбільш релевантні сучасні підходи, які пропонується позначити наступним чином: UA – метод з урахуванням невизначеності [76]; DAKG – підхід, орієнтований на увагу / знання [77]; LLMFE – мультимодальний метод, що комбінує великі мовні моделі та аналіз виразів обличчя [78].

Усі методи запускались на одному і тому ж симулятивному наборі даних. Налаштування гіперпараметрів аналогічних методів виконувались за рекомендаціями авторів (описаними у відповідних наукових публікаціях) з використанням єдиної навчальної вибірки.

Візуальне представлення значень для усіх розглянутих аналогів у порівнянні з розробленим у вигляді порівняльної діаграми зображено на рисунку 3.3. На порівняльній діаграмі представлені отримані значення представлених метрик у роботі метрик у неінвертовані вигляді для порівняння аналогічних підходів з розробленим методом.

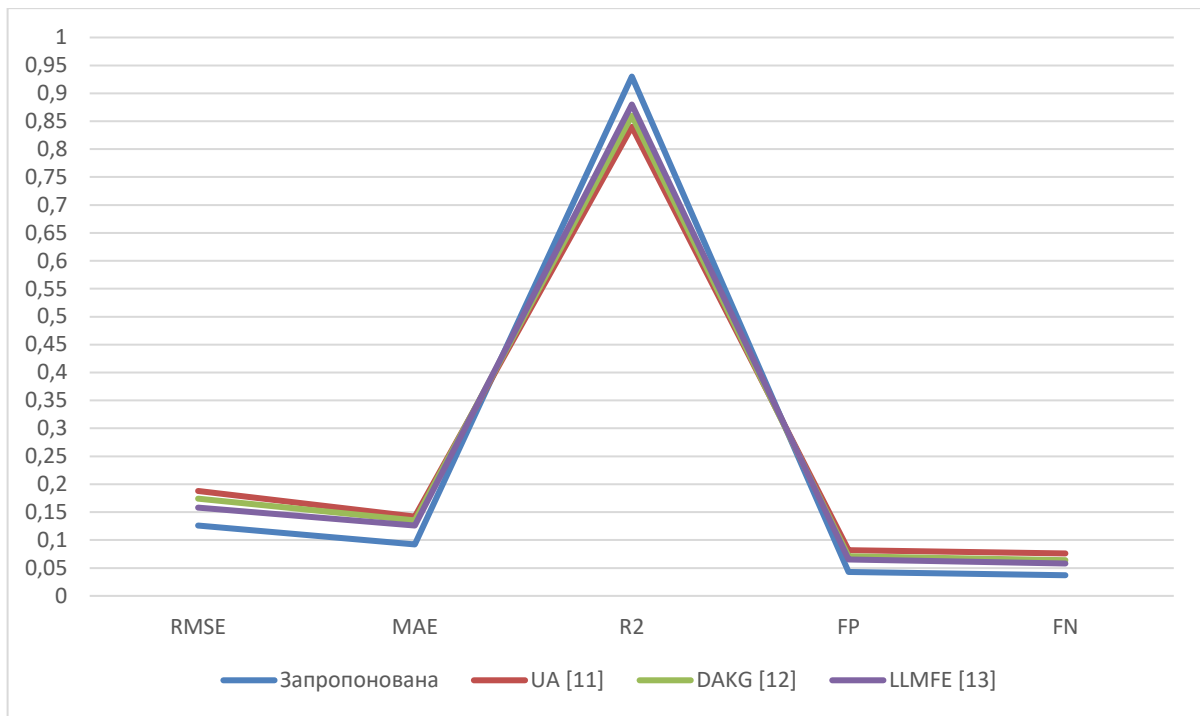


Рисунок 3.3 – Порівняльна діаграма метрик точності для розробленого методу та розглянутих аналогів

Обчисленні значення інтегрального показника точності для аналогічних підходів становлять: UA – 0,862; DAKG – 0,877; LLMFE – 0,894.

Інтегральний показник точності розробленого методу є на 4-7% вищим порівняно з найбільш ефективними для поставленої задачі сучасними аналогами. У результаті дослідження виявлено зниження метрик FP та FN для розробленого методу, що є критичним для систем безперервного моніторингу. Зниження цих метрик сприяє потенційному зменшенню пропущених девіацій за умов практичного використання методу.

На підставі проведеної валідації було сформовано наступні умови застосовності методу:

1) наявність двох взаємодоповнюючих модальностей – метод передбачає одночасне використання текстової та відеомодальності;

2) достатній обсяг калібрувальних даних – для стабільного оцінювання  $\theta_i$ , факторних структур та регресійних коефіцієнтів  $\beta_{0i}$ ,  $\beta_{1i}$ ,  $\beta_{2i}$  необхідний обсяг даних не менше ніж кілька тисяч спостережень у часі;

3) стаціонарність еталонного профілю в середньостроковому інтервалі – первинний профіль повинен бути відносно стабільним у часовому масштабі, на якому відслідковуються девіації;

4) можливість регулярного збору текстових даних – метод передбачає можливість отримання текстів від співробітників, періодичного чого синхронізується із періодами фіксації девіацій;

5) достатня якість відеоданих – важлива коректна робота відеомодальності.

У результаті симуляційної валідації було виявлено наступні обмеження розробленого методу:

1) залежність від якості калібрування – за недостатнього обсягу або низької репрезентативності калібрувальних даних можливе зміщення оцінок  $\theta_i$  та регресійних коефіцієнтів  $\beta_{0i}$ ,  $\beta_{1i}$ ,  $\beta_{2i}$ , що призводить до зниження точності (найбільше у випадках рідкісних проявів психологічних станів);

2) чутливість до систематичних зсувів у модальностях – якщо текстова або відеомодальність зазнає довготривалого та систематичного зміщення, таких як зміна умов зйомки без врахування умов застосовності відеомодальності, написання тексту за шаблоном та ін. існує потреба повторного калібрування адаптивної ф'южн моделі;

3) обмеження розмірності – при збільшенні психолінгвістичних показників  $M$  відбувається зростання складності факторного аналізу та регресійного узгодження, що зумовлює потребу відбирання найбільш інформативних показників;

4) моделювальний характер валідації – хоча симуляційні показники і були отримані на згенерованих даних із максимальним наближенням до реальних, але не враховують усіх можливих девіацій та аномалій, особливо тих, які зустрічаються на практиці рідко;

5) інтерпретаційні обмеження – результати вимірювання психолінгвістичних показників не можуть бути використані для клінічної діагностики, а висновки робить фахівець з кібербезпеки, відповідальний за напрямок на основі отриманих показників.

Сформовані умови застосовності та обмеження доводять, що запропонований метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників є важливим та перспективним інструментом для мультимодальних інформаційних систем безперервного моніторингу психологічного стану персоналу, забезпечуючи підвищення точності оцінювання психологічних коефіцієнтів.

### **3.5 Висновки до розділу 3**

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено психолінгвістичному уточненню психологічних функціональних станів, визначених за відеорядом у контурі безперервного психологічного моніторингу персоналу. Було вперше розроблено двофазний метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників на основі вагового узгодження вимірювань у мовній та відеомодальностях за рахунок використання адаптивної ф'южн-моделі інтеграції психолінгвістичних показників, що забезпечило підвищення точності визначення психологічних коефіцієнтів при динамічному уточненні їх вагових значень відповідно до поточної достовірності каналів спостереження. У ході роботи було:

1. Сформовано модель вхідних даних психолінгвістичної модальності та первинного психолінгвістичного профілю для двофазного режиму функціонування методу. Зокрема, визначено структуру базового та нового текстів, трирівневу модель ознак, що включає синтаксичні, лексико-семантичні та дискурсні ознаки. Визначено вектор психологічних коефіцієнтів з вектором їх значущості, сформовано первинний психолінгвістичний профіль як інформаційно-технологічний еталон для подальшого відстеження девіацій. Визначено сукупність вхідних даних другої фази із урахуванням вхідних параметрів відеомодальності, що забезпечило нотаційне та функціональне узгодження контурів відео та текстового аналізу.

2. Розроблено та формалізовано двофазний метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників, який включає первинне визначення психолінгвістичних коефіцієнтів на основі трирівневого аналізу, формування ваг значущості коефіцієнтів за факторною структурою, ініціацію глибинного аналізу за

умов спрацювання тригера коефіцієнту девіації. Розроблено структурно-логічну схему методу та алгоритм його роботи.

3. Розроблено адаптивну ф'южн-модель узгодження вагових коефіцієнтів між модальностями на основі коефіцієнта, яких змінюється у часі відповідно до поточної узгодженості каналів спостереження. Модель дозволила забезпечити приведення ваг відеомодальності до простору психолінгвістичних коефіцієнтів, формування узгоджених ваг із нормуванням та отримати інтегрально узгоджені психолінгвістичні коефіцієнти, придатні для подальшого використання у контурі безперервного моніторингу.

4. Проведено експериментальну та порівняльну валідацію розробленого методу у формі симуляційного експерименту з моделюванням багатосуб'єктного сценарію та різної достовірності каналів. Валідацію виконано за метриками точності, хибнопозитивних і хибнонегативних спрацювань. Значення інтегрально показника точності розробленого методу складало 0,935 (у межах відхилення 1-2%), що підтверджує покращення показника на 4-7% у порівнянні з найбільш релевантними аналогами. За результатами валідації сформульовано умови застосовності та обмеження методу.

## РОЗДІЛ 4

### ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ СПІВРОБІТНИКІВ

#### **4.1 Структурно-функціональне представлення архітектури інформаційної системи безперервного моніторингу психологічного стану**

Інформаційна система безперервного моніторингу психологічного стану співробітників державних та приватних структур виступає програмно-аналітичним засобом в рамках розробленої технології. Запропонована інформаційна система в рамках дисертаційного дослідження відіграє інтеграційну роль для сформованих методів інтелектуального відеоконтролю і вимірювання психолінгвістичних показників та замикається у єдиний інформаційно-аналітичний контур інтелектуального моніторингу. Суміжні аспекти побудови адаптивних інтелектуальних засобів віддаленого вимірювання психофізіологічних відхилень у робочих процесах із використанням IoT-технологій висвітлено у роботі [79]

Запропонована у розділі інформаційна система в рамках реалізації сформованих методів забезпечує автоматизоване зібрання первинних оцінок психологічних функціональних станів, ініціює глибинне уточнення у разі фіксації девіацій та виконує інтеграцію уточнених за рахунок психолінгвістичного дослідження коефіцієнтів з метою подальшої інтеграції та інтерпретації. Завдяки такому підходу забезпечується системний перехід від локального вимірювання психологічних показників за окремим каналом спостереження до керованого інтелектуального вимірювання. Такий підхід підкріплюється тим, що програмно-аналітичний комплекс має свої чіткі інженерні контури з інтеграцією [80]. Кероване інтелектуальне вимірювання формує підґрунтя для підвищення точності завдяки процесам уточнення та узгодження результатів у різних модальностях. Ключові результати, які стосуються розробленої в дисертації інформаційної системи представлені та опубліковані у статті [81] Запропонована інформаційна система орієнтована на використання в інформаційних середовищах державних та



комерційних структурах. Така орієнтація передбачає регламентований збір відеоданих та письмових текстів від співробітників цих структур в рамках робочих процесів. Функціонування інформаційної системи передбачає інтервальний режим відеоспостереження з формуванням агрегованих оцінок на часовому вікні та ініціацію уточнення лише у випадку спрацювання тригера девіації. Умови застосовності інформаційної системи описуються в підрозділі 4.4. В рамках розгляду інформаційної системи в поточному підрозділі межі застосовності виступають функціонально-організаційними рамками для формування фаз організаційної логіки та структурних і контекстних зв'язків функціональної логіки.

Згідно з роботою [82] фази діагностування психологічного стану відіграють ключову роль у формуванні структури системи. З огляду функціональної організації логіка роботи інформаційної системи може бути представлена у вигляді послідовності фаз (рис. 4.1) інтелектуального вимірювання психологічного стану. Така послідовність передбачає отримання даних первинних спостережень з обчисленням вагових коефіцієнтів їх значущості, аналіз динаміки змін, ініціацію уточнюючих процедур та формування результуючих значень психологічних показників. Сформовані показники спрямовані на підтримку прийняття управлінських рішень інформаційною системою безперервного моніторингу.



Рисунок 4.1 – Фази інтелектуального вимірювання психологічного стану

Інформаційна система безперервного моніторингу психологічного стану призначена для забезпечення безперервного процесу отримання інформаційно-технологічних індикаторів психологічного стану персоналу. Досягається даний процес на основі поєднання первинного відеомоніторингу з керованим психолінгвістичним уточненням показників. Інформаційна система не замінює фахову інтерпретацію визначених показників та не формує висновків. Представлена система націлена формування узгоджених коефіцієнтів та вагових коефіцієнтів для подальшого аналізу фахівцем з інформаційної безпеки чи штатним психологом служби безпеки (СБ) організації.

З метою уточнення меж функціональної застосовності інформаційної системи та представлення процесів взаємодії її компонентів із зовнішніми сутностями, було сформовано контекстне представлення (рис. 4.2), у межах якого зафіксовано основні актори та джерела даних, а також споживачі цих даних разом із потоками переходу даних між сутностями.

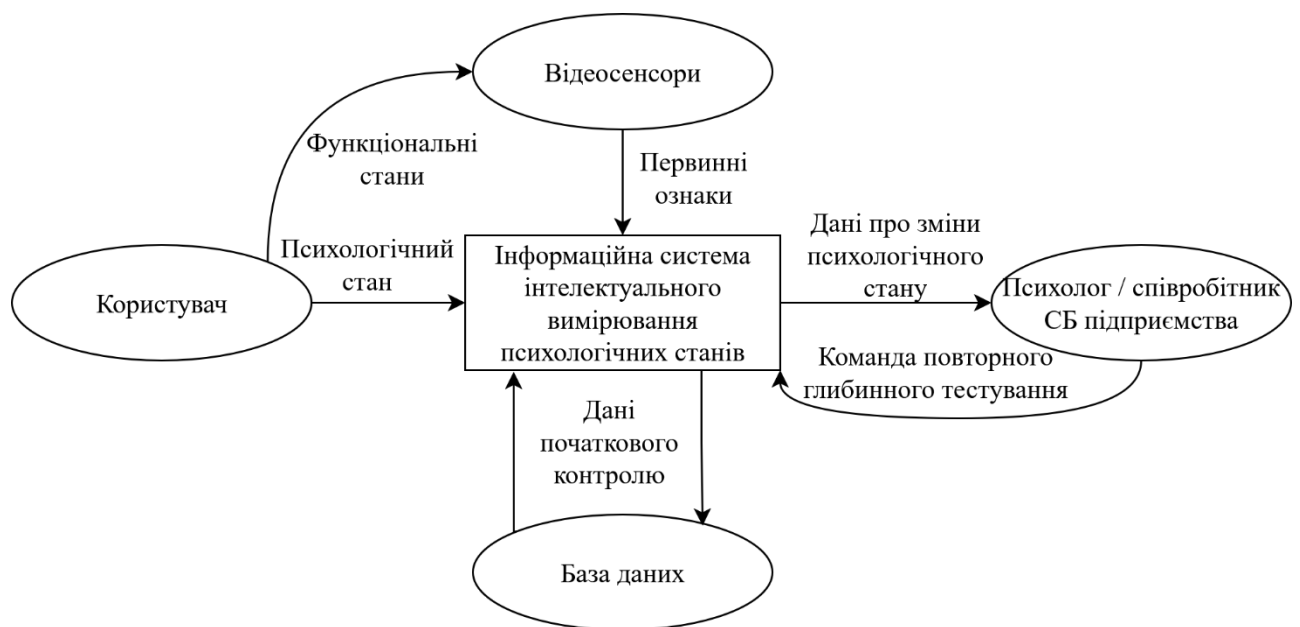


Рисунок 4.2 – Контекстна діаграма інформаційної системи інтелектуального вимірювання психологічних станів

До типових зовнішніх сутностей в рамках виконання задачі безперервного моніторингу належать: персонал підприємства (користувач) як джерело текстових та відеоданих; аналітик (психолог або співробітник СБ підприємства) як споживач узгоджених результатів та ініціатор керуючих впливів для глибинного тестування; інформаційні ресурси збереження даних (база даних) як сховища профілів, історії спостережень коефіцієнтів та правил інтерпретації за вимогами етичної архітектури та етичних принципів збереження даних. Наведена контекстна діаграма сприяє фіксації меж сфери функційної відповідальності інформаційної системи та її ролі в процесах підтримки прийняття рішень.

Внутрішня структурна організація представленої інформаційної системи базується на двоконтурній структурі, яка реалізована на основі дворівневого архітектурного рішення, використання якого обґрунтовується архітектурною декомпозицією на контури у роботі [83]. Структура узгоджується із логікою взаємодії методів, розроблених у дисертації та виступає їх прямою реалізацією у вигляді програмно-аналітичного засобу.

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 рисунку 4.3.

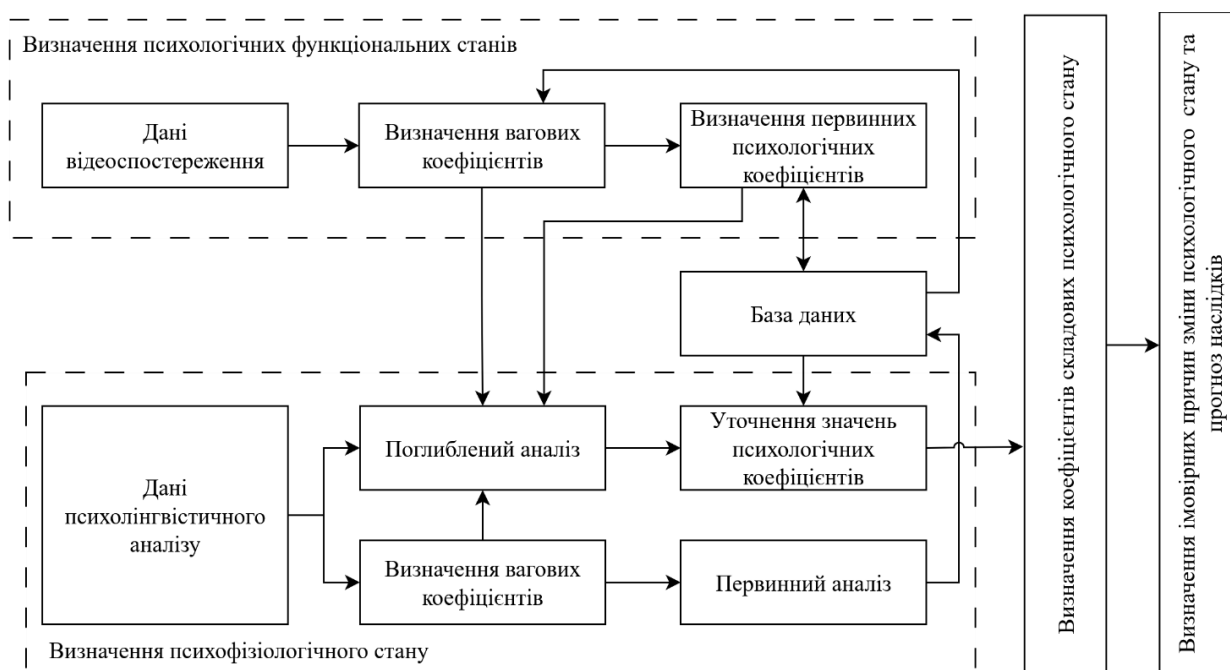


Рисунок 4.3 – Структурно-логічна схема функціонування інформаційної системи інтелектуального вимірювання психологічних станів

Перший контур (визначення психологічних функціональних станів) реалізує первинний відеомоніторинг та формує первинні інтервальні оцінки проявів станів з ваговими коефіцієнтами їх значущості. В рамках цього структурного контуру формується тригерний коефіцієнт девіації, який визначає необхідність переходу до поглибленого аналізу та уточнення коефіцієнтів.

Другий контур (визначення психофізіологічного стану) реалізує поглиблений психолінгвістичний аналіз та забезпечує узгодження модальностей. За умов спрацювання тигера система повторно проводить вимірювання психолінгвістичних коефіцієнтів у новому тексті із застосуванням механізмів регресійного узгодження та адаптивної ф'южн-інтеграції для уточнення значень вагових коефіцієнтів, отриманих в рамках першого структурного контуру.

Представлення деталізованих інформаційних потоків вхідних та вихідних даних у графовому та табличному вигляді наведено у підрозділі 4.3. У рамках структурно-функціонального представлення інформаційної системи сформовано опис функціональних компонентів:

1) модуль первинного відеомоніторингу – забезпечує оперативне первинне вимірювання у відеомодальності та формує оцінки станів, вагові коефіцієнти значущості та тригерний коефіцієнт девіації;

2) модуль психолінгвістичного уточнення – забезпечує глибинний аналіз текстової модальності з урахуванням базового профілю, сформованого нового тексту співробітником та уточнює психологічні коефіцієнти, які надходять з відеомодальності;

3) модуль узгодження модальностей – забезпечує узгодження оцінок відеомодальності з оцінками текстової модальності та формує узгоджені вагові коефіцієнти;

4) модуль інтерпретації та прогнозування – забезпечує перетворення узгоджених коефіцієнтів в інформаційно-аналітичні результати для підтримки прийняття рішень співробітником СБ підприємства (модуль працює виключно з узгодженими результатами вимірювання у модальностях, не впроваджуючи додаткових каналів спостереження, надаючи інформаційно-аналітичну підтримку);

5) сховище даних – забезпечує збереження збереження еталонного профілю, інтервальну інтерпретацію історії спостережень, параметрів калібрування та параметрів регресійних моделей.

Підсистема зберігання, обробки та захисту даних у контурі моніторингу реалізує базові вимоги конфіденційності цілісності та контрольованості доступу до інформаційних ресурсів системи, а також дотримання етичних принципів. Детально механізми захисту даних із використанням шифрування інформації описано в підрозділі 4.3 у контексті розгляду потокових графів. На рівні організації даних забезпечується розмежування доступу за ролями до профілів, параметрів калібрування та результатів інтелектуального вимірювання. Виконується журналювання операцій доступу та змін даних, криптографічний захист під час зберігання та передачі даних на основі SET-шифрування. Результати вимірювання деперсоналізовані на рівні аналітичного представлення з розподіленням індикаторів та ознак.

З огляду на безперервний характер спостережень за умов відтворюваності оцінювань, представлена інформаційна система передбачає наявність підсистеми зберігання, обробки та захисту даних. Підсистема забезпечує накопичення та кероване використання інформації з урахуванням вимог до етичної обробки біометричних даних у двох контурах моніторингу. Підсистема відповідає за збереження мінімально необхідної службової інформації, яка включає: еталонні профілі, історію інтервалів спостереження, параметри калібрування та службові параметри (параметри відображень, регресійних залежностей, параметри ф'южн-узгодження). Службові дані не несуть інформації про біометричні дані об'єктів спостереження, а необхідні для відтворюваності процедур інтелектуального вимірювання, забезпечення можливості контролю версій параметрів та формування цілісного інформаційного базису.

#### **4.2 Формалізоване представлення параметрично-динамічної моделі інформаційної системи**

Сформована двоконтурна функціональна логіка інформаційної системи безперервного моніторингу психологічного стану персоналу передбачає виконання ряду вимог. До вимог належить потреба забезпечення керованого, відтворюваного та інтерпретованого функціонування двох контурів інформаційної системи. Для забезпечення виконання цих вимог застосовано параметрично-динамічне моделювання інформаційної системи, за рахунок чого було вдосконалено дворівневий кореляційно-регресійний аналіз. Такий аналіз важливий при уточненні вагових коефіцієнтів шляхом поєднання локальних регресійних залежностей на рівні оцінювання станів та метарегресійного прогнозування ризиків. Використання параметрично-динамічної моделі обґрунтовано положеннями роботи [84], що доводить доцільність використання цієї моделі в інформаційних системах прогнозування.

Параметрично-динамічна модель використана для задач формального опису еволюції психологічних станів та їх вимірювальних змінних показників і невідомих зовнішніх впливів. Розглядалась саме LPV-подібна параметрично-змінна модель [85]. Еволюція психологічних показників є вагомою характеристикою при дослідженні дев'ятихвних ознак під час моніторингу. У параметрично-динамічній моделі матриці системи плавно залежать від вимірюваних змінних. Ґрунтуючись на даних роботи [86] було сформовано параметрично-динамічну модель для її подальшого вдосконалення. Модель задається співвідношенням:

$$\begin{cases} x_{k+1} = A(p_k)x_k + B(p_k)u_k + E(p_k)w_k \\ y_k = C(p_k)x_k + D(p_k)u_k + v_k \end{cases}, \quad (4.1)$$

де  $x_k$  – вектор прихованих психологічних станів у момент дискретного часу  $k$ ;  $y_k$  – вектор первинних вимірювань (спостережуваних оцінок);  $u_k$  – вектор відомих контекстів входів (умов чи контексту спостережень);  $w_k, v_k$  – процесний та вимірювальний шуми відповідно;  $A(\cdot), B(\cdot), C(\cdot), D(\cdot), E(\cdot)$  – матриці моделі, що плавно залежать від  $p_k$ .

У подальших представленнях дискретний індекс  $k$  відповідає інтервалам спостереження моніторингу, тобто  $k \leftrightarrow t_k$ , де  $t_k$  –  $k$ -й часовий інтервал (вікно агрегування). Вектор стану  $x_k$  інтерпретується як прихований вектор психологічних та/чи психофізіологічних станів персоналу в межах інтервалу  $t_k$ . Вектор первинних вимірювань  $y_k$  інтерпретується як вектор спостережень, сформованих первинними вимірюваннями у модальностях (передусім у відеомодальності на рівні первинного моніторингу) інформаційної системи.

Для забезпечення формальної визначеності моделі фіксується, що  $x_k \in R^n$ ,  $y_k \in R^m$ ,  $u_k \in R^r$ ,  $p_k \in R^q$ , де  $n$  – кількість прихованих станів;  $m$  – кількість спостережуваних показників;  $r$  – кількість відомих контекстних входів;  $q$  – кількість вимірних змінних, які визначають режим функціонування. З урахуванням результатів роботи методів, описаних у розділах 2 і 3, дискретизовані спостереження  $y_k$  утворюються через інтервально агреговані оцінки первинного відеомоніторингу. На етапах уточнення вагових коефіцієнтів психологічних станів

використовуються уточнюючі змінні другого контуру. Дані змінні застосовані також при описі метарегресійних залежностей.

Вектор  $u_k$  відображає такі відомі впливи, як умови спостереження, організаційні фактори, регламентні події тощо. Вимірні змінні  $p_k$  визначають режим та умови, від яких і залежать матриці  $A(\cdot), B(\cdot), C(\cdot), D(\cdot), E(\cdot)$ . Невідомі впливи представлені процесним шумом  $w_k$ , а похибки представлені вимірювальним шумом  $v_k$ , що надає можливість враховувати неточність спостережень у реальних умовах безперервного моніторингу.

Описане вище формалізаційне підґрунтя дозволяє забезпечити відображення динаміки прихованих станів у темпоральній формі представлення, врахувати відомі контекстних впливи при одночасному врахуванні невідомих впливів та похибок через  $w_k$  та  $v_k$ . Формуються властивості параметричної адаптивності моделі на основі залежності матриць від  $p_k$ . Врахування таких умов та параметрів є важливою складовою для реалізації інформаційної системи безперервного моніторингу зі змінними умовами спостереження.

З метою реалізації дворівневої архітектури інформаційної системи моніторингу за умов забезпечення процесів узгодження результатів вимірювань між текстовою та відеомодальностями параметрично-динамічну модель було вдосконалено за рахунок впровадження дворівневого кореляційно-регресійного аналізу.

Регресійні залежності розподілено на локальну регресію та метарегресію. Локальна регресія описує зміну психологічних станів під час оцінювання на рівні безпосередніх спостережень у контурах інформаційної системи моніторингу. Метарегресія описує причинно-наслідкові зв'язки та дозволяє сформулювати прогноз при врахуванні ризиків на основі виміряних і уточнених показників психологічних станів та їх змін.

З огляду параметрично-динамічної моделі (4.1) локальні регресії служать для інтерпретованого оцінювання психологічного стану. Локальні регресії задають відображення від вимірюваних ознак відповідної модальності до оцінок компонент вектора прихованих психологічних станів  $x_k$ . Завдяки цьому механізму на практиці



реалізується перехід від дискретизованих спостережень  $y_k$  до оцінених психологічних станів  $\hat{x}_k$  у дворівневій архітектурі інформаційної системи.

Локальна регресія відображає функціонування інформаційної системи на рівні оцінювання станів за даними первинного відеомоніторингу та за даними уточнюючого психолінгвістичного аналізу. Оскільки інформаційна система передбачає наявність дворівневої архітектури, локальні регресії поділяються на два типи: локальна регресія для рівня визначення психологічних функціональних станів у відеомодальності та локальна регресія для рівня визначення психофізіологічного стану в текстовій уточнюючій модальності.

Оцінка психологічних станів на рівні первинного відеомоніторингу при визначенні психологічних функціональних станів описується локальною регресійною моделлю:

$$\hat{x}_{k,l}^{(j)} = g_0^{(j)} + \sum_{n=1}^N g_n^{(j)} P_{v,k}^{(n)} + \varepsilon_k^{(j)}, \quad (4.2)$$

де  $j$  – індекс психологічного функціонального стану;  $\hat{x}_{k,l}^{(j)}$  – оцінка  $j$ -го стану на інтервалі  $l$  в момент  $k$ ;  $P_{v,k}^{(n)}$  –  $n$ -та відеоознака, визначена за даними відеоспостереження;  $g_0^{(j)}$  та  $g_n^{(j)}$  – регресійні вагові коефіцієнти для  $j$ -го стану;  $\varepsilon_k^{(j)}$  – похибка оцінювання.

Індекс  $l$  позначає номер інтервального (ковзного) вікна в межах дискретного часу  $k$ , що еквівалентно параметру інтервальної оцінки в задачі моніторингу.

За формулою (4.2) задається інтерпретована кореляційно-регресійна основа для переходу від вимірюваних відеоознак до оцінених психологічних станів у первинному контурі моніторингу.

Уточнення психологічних станів на рівні психолінгвістичного уточнюючого контуру при визначенні психофізіологічного стану описується локальною регресійною моделлю:

$$\hat{x}'_{k,l}{}^{(j)} = g'_0{}^{(j)} + \sum_{n=1}^N g'_n{}^{(j)} H_{v,k}^{(n)} + \varepsilon'_k{}^{(j)}, \quad (4.3)$$

де  $\hat{x}'_{k,l}{}^{(j)}$  – оцінка  $j$ -го психофізіологічного (уточненого) стану;  $H_{v,k}^{(n)}$  –  $n$ -та

психолінгвістична ознака, визначена за даними уточнюючого психолінгвістичного аналізу;  $g'_0^{(j)}$  та  $g'_n^{(j)}$  – регресійні вагові коефіцієнти;  $\varepsilon'_k^{(j)}$  – похибка оцінювання.

Зазначені психолінгвістичні ознаки відповідають уточненим ваговим коефіцієнтам за результатами узгодження модальностей та використовуються як аналітичні предиктори на другому контурі архітектури інформаційної системи моніторингу.

Локальні регресії (4.2)-(4.3) формалізують локальні залежності для двох архітектурних рівнів, що узгоджується з логікою двофазного інтелектуального вимірювання, описаною в розділах 2 і 3 дисертаційної роботи та слугують для системної інтеграції методів первинного відеомоніторингу та уточнюючого психолінгвістичного аналізу.

Перехід від локального оцінювання та уточнення психологічних станів до прогнозування ризиків з інтерпретацією причин змін коефіцієнтів психологічних станів потребує впровадження метарегресійної моделі. У роботі використано імовірнісну метарегресію за логістичною функцією, яка дозволяє пов'язати імовірність реалізації ризикової події із поточними й уточненими оцінками психологічних станів та змінами психологічних станів у темпоральному представленні. Метарегресія задається формулою:

$$\log \frac{P(r_k=1)}{1-P(r_k=1)} = \gamma_0 + \sum_{j=1}^n \gamma_i \hat{x}_k^{(j)} + \sum_{p=1}^g \delta_p G_{k,l}^{(p)} + \sum_{j=1}^n \eta_i \Delta \hat{x}_k^{(j)}, \quad (4.4)$$

де  $r$  – індикатор ризику на момент часу  $k$ ;  $\hat{x}_k^{(j)}$  – оцінка  $j$ -го психологічного стану, сформована за локальною регресією,  $G_{k,l}^{(p)}$  – результати уточнюючого психолінгвістичного аналізу;  $\Delta \hat{x}_k^{(j)}$  – зміна оцінки  $j$ -го психологічного стану за темпоральною характеристикою;  $\gamma_0, \gamma_i, \delta_p, \eta_i$  – параметри метарегресійної моделі;  $n$  – кількість врахованих психологічних станів;  $g$  – кількість уточнювальних ознак.

Величини  $G_{k,l}^{(p)}$  інтерпретуються як результати уточнюючого психолінгвістичного аналізу, які отримані у другому контурі архітектури та передані модулю прогнозування ризиків.

Формула (4.4) виконує роль інструменту для узгодженого включення в єдину регресійну конструкцію поточних та уточнених значень оцінки психологічних станів на ряду з даними про зміну цих значень. Такий інструмент в інформаційній системі формує підґрунтя для виділення найбільш значущих предикторів у межах інтерпретованої моделі на відміну від класичного оцінювання ризиків.

З метою підвищення гнучкості регресійного моделювання та формування можливості апроксимації нелінійних залежностей у межах узгодженої моделі передбачено використання багат шарового перцептрону [87]. Перцептрон використовується як інструмент регресійного відображення. Узагальнена форма перцептрона для оцінювання коефіцієнтів психологічних станів представлена наступною формулою:

$$\hat{x}_k^{(j)} = \varphi(W^{(l)}h^{(l-1)} + b^{(l)}) , \quad (4.5)$$

де  $\varphi(.)$  – функція активації для регресії;  $W^{(l)}$  – матриця вагових коефіцієнтів для  $l$ -го шару;  $b^{(l)}$  – вектор зсувів  $l$ -го шару;  $h^{(l-1)}$  – вектор ознак попереднього шару.

Відображення у формі перцептрону розглядається як узагальнення регресійного механізму та може бути використано як розширення локальної регресійної моделі за умов наявності достатньої кількості даних для навчання. Таке розширення дозволяє виконувати моделювання нелінійних кореляцій за наявності потреби в цьому, яка спричинена описаними в розділах 2 та 3 умовами застосовності сформованих у роботі методів.

На основі класичного підходу прогнозування ризику в роботі сформовано комбіновану імовірнісну регресію за принципом логістичної регресії, описаної в роботі [88]. Комбінована регресія дозволяє сформувати прогноз імовірності загрози з урахуванням можливих причин зміни психологічного стану персоналу, результатів уточнення первинних вагових коефіцієнтів та якості вхідних даних. Комбінований імовірнісний прогноз ризику з урахуванням причин та якості даних формується на основі моделі, яка задається формулою:

$$P(r_k = 1|.) = \sigma(g_0 + \sum_{j=1}^n g_j \hat{x}_k^{(j)} + \sum_{c=1}^C w_c P^{(c)} + \sum_{s=1}^q \xi_s G_{k,l}^{(s)} + \psi o_k) , \quad (4.6)$$

де  $\sigma(.)$  – логістична функція;  $\hat{x}_k^{(j)}$  – оцінки психологічних станів;  $P^{(c)}$  – множина

можливих факторів впливу на ризики;  $w_c$  – вагові коефіцієнти факторів впливу;  $G_{k,l}^{(s)}$  – множина значень, сформованих в результаті уточнення психологічних коефіцієнтів;  $\xi_s$  – вагові значення впливу уточнених психологічних коефіцієнтів;  $o_k$  – оцінка якості даних у момент часу  $k$ ;  $g_0, g_j, \psi$  – параметри регресії;  $C$  – потужність множини факторів впливу;  $q$  – кількість компонент уточнення.

Представлена модель комбінованого прогнозу забезпечує імовірнісне узагальнення ризику як функції поточних оцінених станів, можливих факторів впливу на ризики, результатів уточнення та якості даних, які надходять до інформаційної системи моніторингу. Врахування компоненту оцінки якості даних  $o_k$  формує механізм залучення достовірності спостережень в реальних умовах функціонування інформаційної системи моніторингу психологічного стану персоналу.

Формалізоване представлення параметрично-динамічної моделі інформаційної системи формує математичне підґрунтя для опису архітектури інформаційної системи з метою доведення її до алгоритмічного та програмного забезпечення. Функція формалізованого представлення параметрично-динамічної моделі полягає в системній інтеграції процесів визначення первинних психологічних функціональних станів з їх уточненням за рахунок глибинного аналізу психологічних коефіцієнтів.

Системна інтеграція ґрунтується на наступному механізмі. Параметри первинного відеомоніторингу формують первинні вимірювання та ознаки, що включаються до  $y_k, p_k$  та локальної регресії. Результати уточнення психологічних коефіцієнтів та узгодження модальностей формують уточнені змінні  $H_{v,k}^{(n)}$  та  $G_{k,l}^{(p)}$ , а також складові динамічної компоненти моделі  $\Delta \hat{x}_k^{(j)}$ . Дворівнева логіка поєднання локальних регресій з метарегресією дозволяє формалізувати перехід від вимірювання психологічних станів до прогнозування ризиків. Така логіка дозволяє враховувати як поточний психологічний стан, так і його зміну, імовірну причину таких змін та якість даних, які передаються інформаційній системі моніторингу.

Формальний апарат параметрично-динамічного опису інформаційної системи з урахуванням вдосконаленої моделі забезпечує керованість та масштабованість системи при безперервному моніторингу у змінних умовах спостереження.

#### **4.3 Графове та табличне представлення інформаційної системи з урахуванням етичних принципів та захисту даних**

Сформовану дворівневу архітектуру інформаційної системи безперервного моніторингу психологічного стану з наведеним параметрично-динамічним та кореляційно-регресійним формалізованим представленням необхідно представити у графічному та табличному вигляді з метою забезпечення інженерної однозначності та демонстрації послідовності перетворення даних. Послідовність перетворення даних описується станами інформаційної системи, вхідними та вихідними потоками даних та переходами між станами системи. Надається графічне представлення моделі інформаційної системи у вигляді потокового графу разом із табличним його представленням. Окремо наводиться розширений варіант потокового графу з урахуванням етичних принципів функціонування інформаційної системи моніторингу на архітектурному рівні [35].

Табличне представлення (табл. 4.2) відображає функціональну модель інформаційної системи моніторингу психологічного стану персоналу у вигляді F-системи. F-система має 11 станів:  $z_0$  – ініціалізація та калібрування;  $z_1$  – приймання відеопотоку та ідентифікація суб'єкта  $L$ ;  $z_2$  – покадровий аналіз і формування первинних оцінок;  $z_3$  – інтервальне агрегування та обчислення щільностей інтервальних показників;  $z_4$  – обчислення ваг значущості та коефіцієнта девіації;  $z_5$  – перевірка тригера та вибір режиму (продовження моніторингу або запуск уточнення);  $z_6$  – ініціація другої фази та запит чи отримання нового тексту;  $z_7$  – психолінгвістичний аналіз;  $z_8$  – регресійне уточнення та узгодження модальностей;  $z_9$  – метарівень: прогноз ризику чи інтерпретація причин;  $z_{10}$  – видача результатів.

F-система має 2 потоки вхідних даних та 3 потоки вихідних даних. Вхідні потоки даних позначені:  $x_1$  – надходження потоку первинних вимірювань (зокрема,

відеомоніторинг та інтервальні оцінки первинного контуру);  $x_2$  –керуючий вхід (спрацювання тригера, надходження нового тексту, завершення уточнення, запуск етапу видачі результату).

Вихідні потоки даних позначені:  $y_1$  – службові запити та сигнали ініціації (запуск, запит тексту, видача підсумку);  $y_2$  – рішення (також результат метарівня);  $y_3$  – результати обчислень (проміжні чи агреговані індикатори контурів).

Таблиця 4.1

Табличне представлення переходів F-системи інформаційної системи

	$y_1$	$y_3$	$y_3$	$y_3$	$y_3$	$y_2$	$y_1$	$y_3$	$y_3$	$y_2$	$y_1$
	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_9$	$z_{10}$
$x_1$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_1$	$z_6$	$z_7$	$z_9$	$z_{10}$	$z_1$
$x_2$	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_5$	$z_{10}$	$z_1$

У таблиці по горизонталі відображаються стани системи  $z_0...z_{10}$  з фіксацією відповідного вихідного потоку  $y$  для кожного стану, а по вертикалі – вхідні потоки  $x_1$  та  $x_2$ . У комірках таблиці наведено значення переходу системи з поточного стану у наступний стан при надходженні відповідного входу. Таблиця задає детерміновану функцію переходів  $T(x, z)$ .

Направлений граф (рис. 4.4) відображає послідовність перетворення даних у межах інформаційної системи, де вершини графа відображають стани системи, а дуги – переходи між станами.

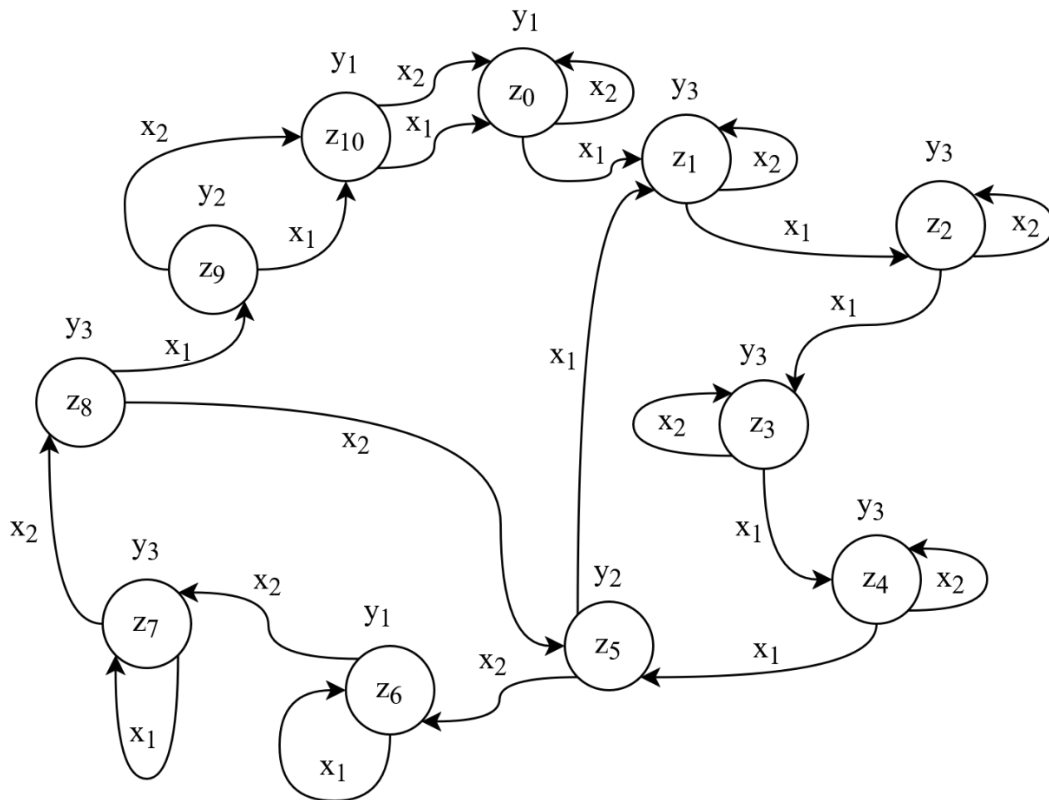


Рисунок 4.4 – Направлений граф переходів F-системи інформаційної системи

Для демонстрації того, що етичні принципи обробки даних реалізуються не як зовнішня надбудова інформаційної системи моніторингу, а як вбудовані архітектурні механізми, представлену F-систему розширено шляхом введення чотирьох додаткових внутрішніх станів, що відповідають ключовим принципам етичної обробки даних (мінімізація, псевдонімізація, конфіденційність через шифрування, контроль доступу й аудит). Зазначені механізми забезпечують етично коректну обробку чутливих персональних даних у процесі безперервного моніторингу, а шифрування виступає обов'язковим елементом архітектурної реалізації конфіденційності та захисту від несанкціонованого доступу.

У розширеній F-системі до одинадцяти існуючих додано наступні чотири стани:  $z_{11}$  – мінімізація даних (перехід від первинних даних до вторинних індикаторів і агрегатів);  $z_{12}$  – псевдонімізація результатів перед передаванням у метарівень;  $z_{13}$  – шифрування (захист даних під час передавання чи збереження в межах контурів);  $z_{14}$  – контроль доступу та аудит (журналювання видачі результатів

і доступу до них). Потоки вхідних та вихідних даних збережені. Табличне представлення наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Табличне представлення переходів F-системи інформаційної системи з етичною архітектурою

	$y_1$	$y_3$	$y_3$	$y_3$	$y_3$	$y_2$	$y_1$	$y_3$	$y_3$	$y_2$	$y_1$	$y_3$	$y_3$	$y_3$	$y_1$
	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_9$	$z_{10}$	$z_{11}$	$z_{12}$	$z_{13}$	$z_{14}$
$x_1$	$z_1$	$z_2$	$z_{11}$	$z_4$	$z_5$	$z_1$	$z_6$	$z_{11}$	$z_{12}$	$z_{14}$	$z_1$	$z_{13}$	$z_9$	$z_3$	$z_{10}$
$x_2$	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_5$	$z_{10}$	$z_1$	$z_{11}$	$z_{12}$	$z_{13}$	$z_1$

Графічне представлення відображено на рисунку 4.5.

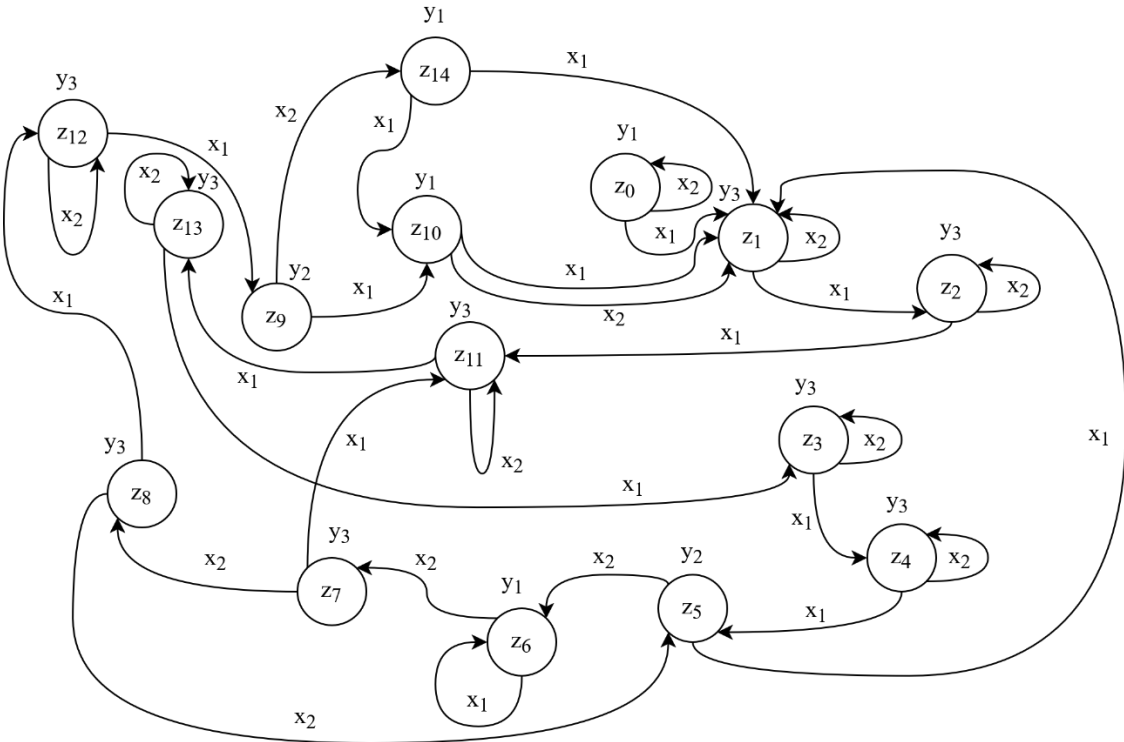


Рисунок 4.5 – Направлений граф переходів F-системи інформаційної системи з урахуванням етичної архітектури

Запропонована інформаційна система працює в умовах безперервного моніторингу, являє собою систему обробки інформації в режимі реального часу та не може виходити за дедлайни під час обробки. Використання потужних вбудованих засобів збору та обробки даних перешкоджає цьому процесу. Відтак, можна стверджувати що інформаційна система виконує обробку даних в умовах



малоресурсності. Важливою умовою є збереження конфіденційності даних про стани об'єктів спостереження та їх біометричні метрики. Інформація, що передається та обробляється системою повинна бути зашифрованою. У статті [89] представлено технічне рішення задачі захисту інформації з використанням СЕТ-шифрування.

В умовах малоресурсності представленої системи та необхідності забезпечити кодування та розкодування інформації під час обробки на кожному вікні моніторингу, застосування традиційних криптоалгоритмів є задачею, яку складно реалізувати. У запропонованій інформаційній системі необхідно забезпечити швидкість виконання операцій яка відповідає режиму реального часу. В такому випадку доцільно застосувати малоресурсне СЕТ-шифрування [90]. Особливість СЕТ-шифрування полягає в тому, що воно є потоковим, забезпечує високу швидкість криптографічного перетворення інформації і гарантує двонаправлену передачу між складовими системи моніторингу психологічного стану.

У даній інформаційній системі доцільним є застосування несиметричних СЕТ-операцій для забезпечення шифрування однакової інформації з використанням однакових ключових послідовностей але при побудові різних шифрограм.

Серед СЕТ-операції доцільно виділити операції строгого криптографічного перетворення які забезпечують максимальну невизначеність результатів шифрування [91]. Дані СЕТ-операції гарантують перетворенням кожного біту операції з ймовірністю 0,5. Кожна однооперандна СЕТ-операція реалізує одну таблицю підстановки. Двохоперандні СЕТ-операції реалізують декілька таблиць підстановки. Вибір таблиці підстановки для перетворення першого операнду визначається значенням другого операнду в який заноситься псевдовипадкова послідовність. Група двохранрядних двохрандних СЕТ-операцій строгого криптографічного кодування наведена в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Група двохранрядних двохрандних СЕТ-операцій строгого криптографічного кодування

$C_3 = C'_6 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (\gamma_1 \oplus \gamma_2) \oplus x_2 \cdot (\gamma_1 \oplus \gamma_2) \\ x_1 \cdot (\gamma_1 \oplus \gamma_2) \oplus x_2 \cdot ((\gamma_1 \oplus \gamma_2)) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \bar{\gamma}_1 \end{bmatrix}$	$C_6 = C'_3 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (\gamma_1 \oplus \gamma_2) \oplus x_2 \cdot (\gamma_1 \oplus \gamma_2) \\ x_1 \cdot (\gamma_1 \oplus \gamma_2) \oplus x_2 \cdot ((\gamma_1 \oplus \gamma_2)) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \gamma_2 \\ \bar{\gamma}_2 \end{bmatrix}$
$C_{12} = C'_9 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_1 \\ k_1 \end{bmatrix}$	$C_9 = C'_{12} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$
$C_{16} = C'_{23} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$	$C_{23} = C'_{16} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$
$C_{20} = C'_{13} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_1 \\ k_1 \end{bmatrix}$	$C_{13} = C'_{20} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (\bar{k}_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$
$C_1 = C'_2 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$	$C_2 = C'_1 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \bar{k}_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$
$C_8 = C'_7 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$	$C_7 = C'_8 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \bar{k}_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$
$C_{18} = C'_{21} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$	$C_{21} = C'_{18} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \bar{k}_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$
$C_{22} = C'_{17} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$	$C_{17} = C'_{22} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \bar{k}_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$
$C_4 = C'_5 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$	$C_5 = C'_4 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \bar{k}_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$
$C_{15} = C'_{24} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \\ x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$	$C_{24} = C'_{15} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \\ x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \bar{k}_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$
$C_{14} = C'_{19} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \\ x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$	$C_{19} = C'_{14} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$
$C_{10} = C'_{11} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$	$C_{11} = C'_{10} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_1 \\ k_1 \end{bmatrix}$

При побудові криптографічної системи в умовах безперервного моніторингу доцільно використовувати не одну двохоперандну СЕТ-операцію, а групу операцій з заданими властивостями.

Побудова групи модифікованих двохоперандних СЕТ-операцій з точністю до перестановки можлива на основі трьох варіантів синтезу:

– з точністю до перестановки першого операнда:

$$C_i(x, y) = C(C_i(x), y) ; \quad (4.7)$$

– з точністю до перестановки другого операнда:

$$C_i(x, y) = C(x, C_i(y)) ; \quad (4.8)$$

– з точністю до перестановки результату перетворення:

$$C_i(x, y) = C_i(C(x, y)) . \quad (4.9)$$

Генерація групи двохоперандних операцій можлива за рахунок використання методу синтезу двохоперандних двох розрядних операцій з точністю до перестановки.

На основі (4.7) – (4.9) можна реалізувати генератор псевдовипадкових послідовностей, що буде обирати операцію кодування керуючись інформацією отриманою з текстової та відеомодальностей. При застосуванні (4.8) у псевдовипадковій послідовності буде реалізована вся група операцій, представлена в таблиці 4.3. При застосуванні (4.7) та (4.9) будуть генеруватись операції які не входять до зазначеної математичної групи. Таким чином може бути збільшена невизначеність обрання СЕТ-операції, що буде використана при криптографічному перетворенні. Проте не всі операції, що генеруються будуть відповідати вимогам строгого криптографічного кодування.

Синтезу груп СЕТ-операцій з точністю до перестановки на основі (4.7) – (4.9) дозволить будувати генератори псевдовипадкових послідовностей СЕТ-операцій з однаковими властивостями, щоб забезпечити побудову криптографічних алгоритмів потокового шифрування.

У представленій інформаційній системі доцільно реалізувати криптографічний захист інформації на основі генерації двохоперандних несиметричних СЕТ-операцій з точністю до перестановки другого операнда при передачі інформації від відеоканалу до блоку опрацювання даних (алгоритм І). Згенеровані прямі та обернені несиметричні двохоперандні СЕТ-операції будуть належати до синтезованої групи з точністю до перестановки другого операнда та матимуть однакові криптографічні властивості.

Для реалізації криптографічного захисту інформації від бази даних до блоку обробки даних доцільно застосування синтезу прямих та обернених операцій на

основі генерації двохоперандних несиметричних SET-операцій з точністю до перестановки першого операнда (алгоритм II).

Застосування SET-шифрування під час обробки інформації дозволило реалізувати архітектурні механізми етично коректної обробки даних в інформаційній системі безперервного моніторингу, що націлені на зниження ризиків приватності під час моніторингу персоналу.

#### **4.4 Експериментальна перевірка та оцінювання ефективності інформаційної системи**

Експериментальна перевірка інформаційної системи безперервного моніторингу психологічного стану персоналу проводилась з метою валідації точності запропонованої вдосконаленої параметрично-динамічної моделі. Результати експерименту важливі для оцінювання запропонованої інформаційної системи в цілому як засобу, що є результатом системної інтеграції розроблених та представлених в дисертаційному дослідженні методів. Важливим етапом експериментального та порівняльного аналізу запропонованого інформаційного засобу моніторингу є визначення та закріплення умов застосовності інформаційної системи та її обмежень в цілому для задач безперервного моніторингу психологічного стану.

Для забезпечення необхідного валідаційного охоплення при визначенні метричних значень, які характеризують інформаційну систему було проведено:

1) моделювання часової динаміки психологічних функціональних станів та психолінгвістичних параметрів на дискретному часовому проміжку;

2) оцінювання точності визначення психологічних коефіцієнтів та інтегральної якості прогнозування (AUC);

3) аналіз помилок першого (хибне спрацювання) та другого (пропущене спрацювання) роду як критичних показників для системи безперервного моніторингу;

4) порівняльний аналіз результатів вдосконалення моделі з базовою параметрично-динамічною моделлю до вдосконалення та сучасними підходами прогнозування;

5) формування умов застосовності та обмежень розробленої інформаційної системи.

Валідація була проведена у формі симуляційного експерименту. Симуляція виконувалась у середовищі Python із використанням бібліотек NumPy та scikit-learn та стандартних засобів візуалізації.

Для забезпечення відтворюваності результатів симуляційного експерименту окрім середовища моделювання і бібліотек, також дискретизація часу, яка виступає у вигляді послідовності інтервалів спостереження  $k=1, \dots, K$ , що відповідає інтервальній природі моніторингу психологічних станів. Правила генерації та масштабування синтетичних спостережень і рівнів стохастичних компонент як процесний  $w_k$  та вимірювальний шум  $v_k$  було зафіксовано. Для відтворення процесного та вимірювального шумів було використано значення для генератора випадкових чисел:  $\text{seed}=42$ . Застосовано однаковий підхід до формування навчальної і тестової вибірок для всіх моделей. Навчальна та тестова підвибірки формувались за сталою часткою 70% / 30%. Для дослідження розкиду значень, кількість повторних запусків симуляції складала 50.

Оцінювання показників симуляції проводилось з використанням наступних метрик: точність – частка коректних рішень та класифікацій в межах прийнятого представлення задачі прогнозування; інтегральна оцінка (AUC) – узагальнена характеристика; помилки першого роду – хибне спрацювання; помилки другого роду – пропущене спрацювання.

З огляду на прикладну спрямованість застосування інформаційної системи моніторингу обґрунтовано ключову вимогу до такої системи. Ключова вимога є комплексним показником та включає на ряду з високою інтегральною оцінкою точності системи, також мінімізацію частоти хибних та пропущених спрацювань. Помилки системи такого роду впливають на стабільність та керованість контурів підтримки прийняття рішень та прогнозування.

Порівняльний аналіз здійснювався як із базовою моделлю до вдосконалення, так і з аналогами з метою доведення ефективності вдосконалення параметрично-динамічної моделі в задачах моніторингу показників психологічного стану. Було проаналізовано роботу [92], та обрано два найбільш релевантних аналогі: використання лише багат шарового перцептону [93] та градієнтного бустингу [94]. Вдосконалена параметрично-динамічна модель порівнювалась із базовою LPV-подібною (LPV) моделлю як основи без впровадження дворівневого кореляційно-регресійного вдосконалення; із неймережевим підходом прогнозування з використанням лише багат шарового перцептрона (MLP) та градієнтного бустингу як підходу, що часто використовується в задачах прогнозування на табличних чи агрегованих ознаках (GBM).

Симуляції для усіх аналогічних рішень та запропонованої системи запускались на однаковому наборі вхідних даних та за однакових умов. Для порівняння використовувались описи параметрів, сформовані авторами у відповідних наукових публікаціях. Окремо розглядались валідаційні результати, описані в роботі [92].

Для аналізу точності визначення психологічних коефіцієнтів з урахуванням прогнозування причини часової динаміки психологічних станів було виконано симуляцію поведінки інформаційної системи. Симуляція проводилась для темпоральної еволюції психологічних функціональних станів та психолінгвістичних параметрів у дискретизованому часовому проміжку. Моделювалась поведінка базової параметрично-динамічної моделі, вдосконаленої моделі, яка враховує дворівневий кореляційно-регресійний аналіз з комбінованим імовірнісним прогнозуванням. Результати симуляції представлені на рисунку 4.6. Для забезпечення відтворюваності симуляції прикладу темпоральної динаміки та побудови ілюстративної траєкторії використано довжину ряду  $K=200$  дискретних інтервалів. Моделювання змінних умов виконувалось на основі контрольованого перемикавання режиму в момент  $k_0 = 120$ . Наступним кроком змінювався характер еволюції прихованого показника психологічного стану  $x_k$ , що імітувало дрейф

базового рівня. Первинні спостереження формувались із додаванням вимірювальної варіативності. На ковзному вікні застосовано згладжування  $w=10$  інтервалів.

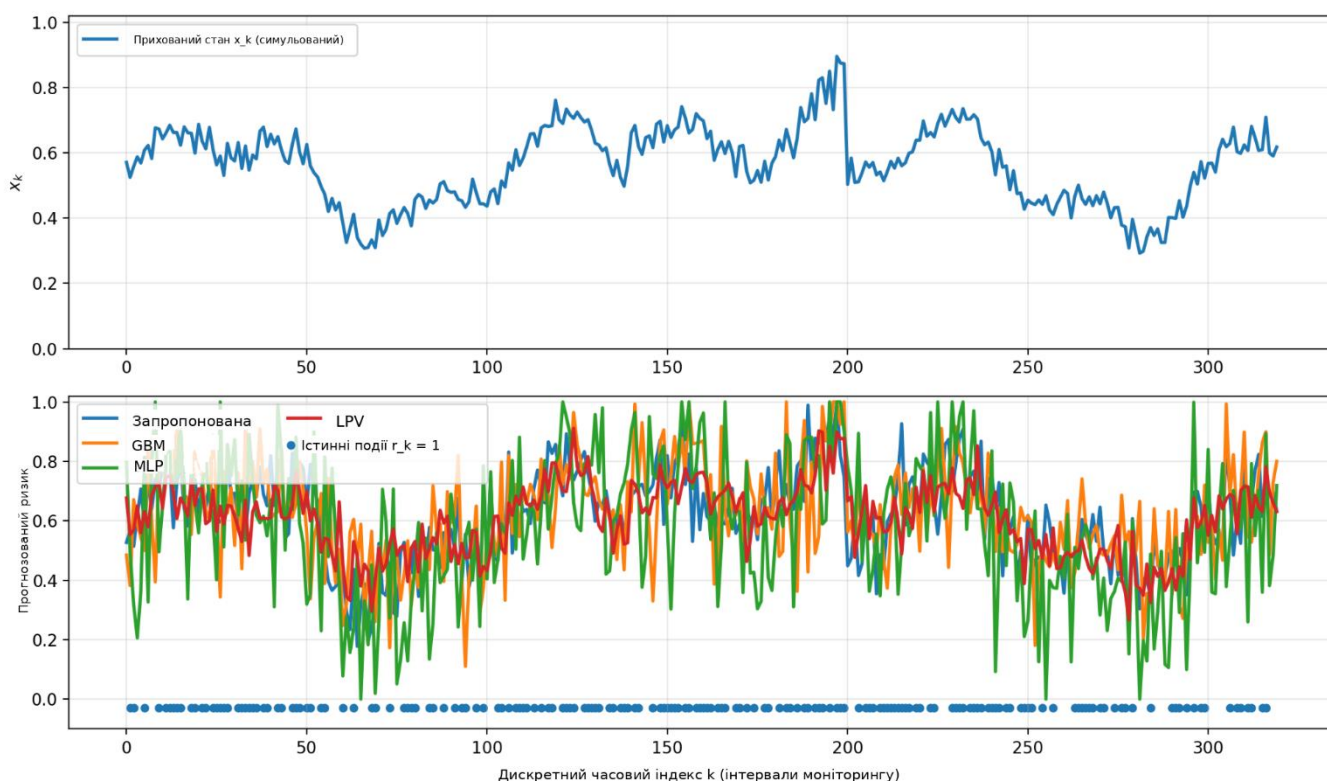


Рисунок 4.6 – Темпоральна еволюція прихованого психологічного стану та дискретизованих оцінок у процесі симуляції безперервного моніторингу

На рисунку наведено приклад темпоральної еволюції прихованого психологічного стану  $x_k$  у дискретизованому часовому проміжку та відповідних оцінок. Сформованих інформаційною системою у послідовних вікнах спостереження. Візуалізація відображає роботу системи в динамічному режимі безперервного моніторингу. Представлено процес забезпечення відстежуваності змін стану у часі, що є принциповим та важливим питанням для задач подальшої інтерпретації та прогнозування ризикових подій. Графік ілюструє адаптивний характер функціонування інформаційної системи в темпоральному вимірі. На графіку показано, як за зміни динаміки станів система зберігає здатність формувати узгоджені оцінки у дискретних інтервалах порівняно з аналогами. Така властивість дозволяє зменшити частоту хибних і пропущених спрацювань, що в подальшому

вимірюється і підтверджується метриками точності, AUC та помилок першого і другого роду.

Візуальне представлення отриманих значень визначених метрик для розробленої системи та аналогів зображено на рисунку 4.7.

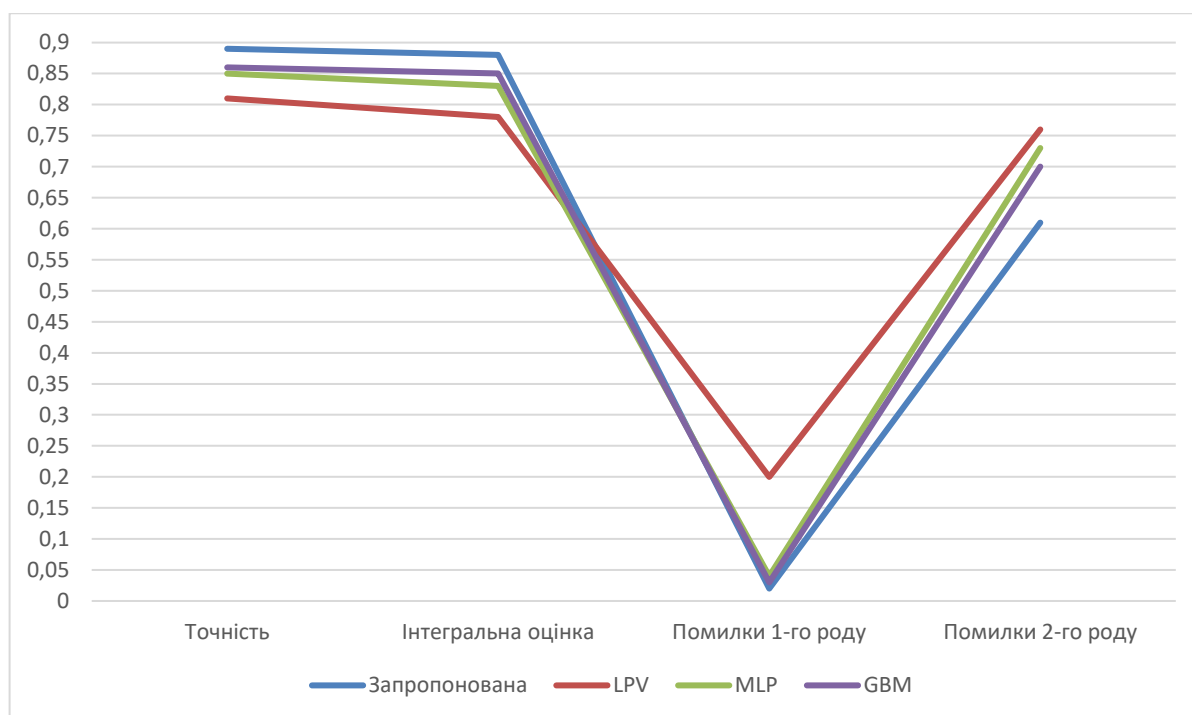


Рисунок 4.7 – Порівняльна діаграма показників запропонованої вдосконаленої моделі та аналогічних моделей

Удосконалена модель демонструє найвищі значення як інтегрального показника, так і показника точності. Частота хибних та пропущених спрацювань у запропонованій моделі є найнижчою порівняно з розглянутими аналогами. Результати, представлені на рисунку 4.7 доводять доречність та ефективність удосконалення параметрично-динамічної моделі в задачах моніторингу психологічного стану персоналу. Графічне представлення результатів слугує для наочного порівняння.

Отримані в результаті симуляції конкретні значення точності визначення психологічних коефіцієнтів розробленою інформаційною системою та частоти хибних і пропущених спрацювань представлено в таблиці 4.4.



Таблиця 4.4

Порівняльні значення метрик якості для досліджуваних моделей

Модель	Точність, %	Помилки 1-го роду, %	Помилки 2-го роду, %
Розроблена	0,89	0,02	0,61
LPV	0,81	0,2	0,76
MLP	0,85	0,04	0,73
GBM	0,86	0,03	0,7

Результати розкиду значень точності для розробленої системи показано на рисунку 4.8.

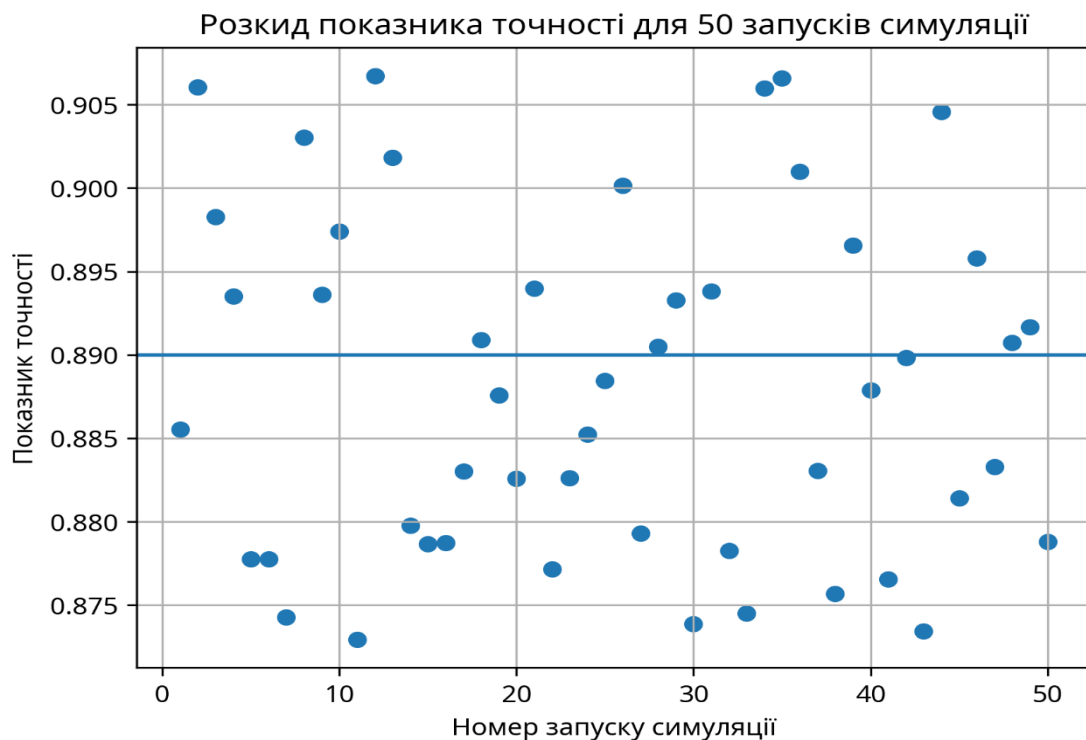


Рисунок 4.8 – Розкид показника точності визначення психологічних коефіцієнтів розробленою інформаційною системою для 50 запусків симуляції

Для отриманих значень точності визначення психологічних коефіцієнтів розробленою інформаційною системою була проведена перевірка відтворюваності. З метою доведення стабільності отриманих показників точності. Для розробленої інформаційної системи проведено запуски 50 незалежних повторів симуляційного

експерименту. Розкид лежить в межах 1-2%, що доводить стабільність показника точності та доводить відтворюваність результатів.

Точність визначення психологічних коефіцієнтів є вищою на 8-10% у порівнянні з аналогами. Середнє значення частоти виникнення помилок 1-го та 2-го роду знижено на 20%. Такі значення є критичними для задач моніторингу, оскільки знижують частоту хибних спрацювань та ймовірність пропуску девіацій.

Отримані результати свідчать, що введення дворівневого кореляційно-регресійного апарату при побудові інформаційної системи моніторингу психологічного стану забезпечує приріст точності, а також отримати більш керовані характеристики помилок з урахуванням потреб адаптивності порівняно з аналогічними рішеннями.

На підставі проведеної валідації на основі симуляційного експерименту та з урахування дворівневої архітектури інформаційної системи було сформовано наступні умови її застосовності:

1) наявність спостережуваних параметрів та контексту для побудови вектора вимірних змінних  $p_k$  та контекстних виходів  $u_k$ , які впливають на режим функціонування системи;

2) репрезентативність даних для калібрування і навчання з метою оцінювання вагових коефіцієнтів локальних регресій і метарегресії та компонентів перцептрону, що забезпечує коректне узгодження з типовими сценаріями зміни станів;

3) стабільність умов спостереження у межах інтервалів агрегування, що дозволяє виконувати коректну інтерпретацію  $k \leftrightarrow t_k$  й узгоджувати часові характеристики;

4) використання результатів роботи системи передбачається у вигляді індикаторів підтримки прийняття рішень, а не як інструмента клінічної діагностики, оскільки система формує аналітичні оцінки, коефіцієнти та узагальнені показники ризику для подальшої інтерпретації фахівцем чи штатним психологом СБ підприємства.

У результаті симуляційного експерименту було визначено такі обмеження та сформовано практичні рекомендації щодо використання інформаційної системи моніторингу психологічного стану персоналу:

1) валідація у вигляді обчислювального експерименту не покриває рідкісних або нетипових випадків девіацій, що формує невизначеність поведінки в окремих можливих рідкісних випадках;

2) залежність якості від репрезентативності даних, що спричиняє можливість погіршення точності та зміну профілю помилок у разі недостатнього обсягу чи зміщення вибірки;

3) чутливість до систематичних зсувів даних чи умов у часі зумовлює потребу повторного калібрування засобів реалізації інформаційної технології при довготривалих змінах режимів спостереження або характеристик входів;

4) інтерпретаційні обмеження, що зумовлено інформаційно-аналітичними функціями системи, які потребують експертної інтерпретації даних навіть за умов реалізації прогнозування, яке дозволяє лише визначити вірогідні зміни параметрів у часі.

Сформульовані обмеження та умови застосовності задають конкретні рамки практичного використання запропонованої в роботі інформаційної системи моніторингу в задачах безперервного аналізу психологічного стану персоналу.

## **Висновки до розділу 4**

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено розробленню інформаційної системи інтелектуального моніторингу психологічного стану співробітників, яка забезпечує системну інтеграцію первинного відеомоніторингу, психолінгвістичного уточнення, узгодження модальностей, прогнозування ризиків та захисту даних у межах безперервного контуру спостереження. У розділі було розроблено структурно-функціональні, формальні, інформаційно-графові та експериментальні засади побудови такої системи, що дозволило перейти від

окремих методів аналізу до цілісного програмно-аналітичного засобу безперервного моніторингу. При цьому було отримано наступні результати:

1. Сформовано структурно-функціональне представлення архітектури інформаційної системи безперервного моніторингу психологічного стану співробітників. Визначено фази інтелектуального вимірювання психологічного стану, побудовано контекстну діаграму системи та розроблено її двоконтурну архітектуру, у межах якої перший контур реалізує первинний відеомоніторинг і виявлення девіацій, а другий – психолінгвістичне уточнення, узгодження результатів різних модальностей та формування аналітичних показників для підтримки прийняття рішень.

2. Удосконалено параметрично-динамічну модель інформаційної системи за рахунок впровадження дворівневого кореляційно-регресійного аналізу, який поєднує локальні регресійні залежності на рівні оцінювання психологічних станів із метарегресійним прогнозуванням ризиків, що дозволило формалізувати перехід від первинних спостережень до узгоджених оцінок психологічних коефіцієнтів, врахувати їх темпоральну динаміку, зовнішні контекстні впливи, якість даних, а також забезпечити математичне підґрунтя для керованого й інтерпретованого функціонування системи в умовах змінних режимів спостереження.

3. Розроблено графове та табличне представлення інформаційної системи у вигляді F-системи, що забезпечило інженерно-однозначний опис станів, інформаційних потоків і переходів між ними в межах безперервного моніторингу. Додатково розширено архітектурне представлення системи шляхом включення етичних механізмів мінімізації даних, псевдонімізації, шифрування, контролю доступу та аудиту безпосередньо до структури її функціонування. Обґрунтовано доцільність застосування СЕТ-шифрування як малоресурсного засобу криптографічного захисту даних у реальному часі як архітектурного механізму обробки інформації, що забезпечує конфіденційність і захист чутливої інформації в процесі моніторингу.

4. Проведено експериментальну перевірку та порівняльне оцінювання ефективності розробленої інформаційної системи у формі симуляційного

експерименту. Валідацію виконано за метриками точності, інтегральної якості прогнозування, помилок першого та другого роду. Отримані результати показали, що розроблена система демонструє вищу точність порівняно з базовою LPV-подібною моделлю, багат шаровим перцептроном і градієнтним бустингом, а також характеризується нижчими частотами хибних і пропущених спрацювань. За результатами експерименту підтверджено відтворюваність показників, а також сформульовано умови застосовності та обмеження інформаційної системи в задачах безперервного моніторингу психологічного стану персоналу.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення точності визначення індикаторів психологічних коефіцієнтів та зменшення імовірності виникнення помилок 1-го та 2-го роду в процесі моніторингу на основі розробки та реалізації інформаційної технології безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану співробітників державних і комерційних структур. При цьому отримані такі результати:

1. Розроблено метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану на основі компактної нейромережевої моделі та інтервального узгодження оцінок у потоковому режимі шляхом тригеризації подальшого глибинного дослідження за рахунок перманентного аналізу відеоряду та інтервального узгодження оцінок у потоковому режимі, що дозволило забезпечити відстежування динаміки психологічних функціональних станів співробітників за часовий проміжок для формування первинних психологічних коефіцієнтів з використанням факторного аналізу та підвищити ефективність відеомоніторингу психологічних показників на 31,5 відсотковий пункт у порівнянні з 4 розглянутими аналогами.

2. Розроблено двофазний метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників на основі вагового узгодження вимірювань у мовній та відеомодальностях за рахунок використання адаптивної ф'южн-моделі інтеграції психолінгвістичних показників, що дозволило виконувати глибинне уточнення вагових значень первинних індикаторів психологічних коефіцієнтів, сформованих у результаті відеоаналізу за умов узгодження текстової та відеомодальностей та підвищити значення інтегрального показника точності на 4-7% у порівнянні з трьома найбільш релевантними аналогами.

3. Удосконалено параметрично-динамічну модель прогнозування часової динаміки психологічних станів на основі використання кореляційно-регресійного аналізу за рахунок дворівневого підходу, що дозволило виконувати інтелектуальне вимірювання психологічних показників у різних модальностях та розробити

інформаційну систему безперервного інтелектуального моніторингу психологічного стану співробітників із прогнозуванням психологічних станів, яка системно інтегрує процеси визначення первинних психологічних функціональних станів та уточнення їх шляхом глибинного аналізу психофізіологічного стану та дало можливість підвищити точність визначення психологічних коефіцієнтів на 8-10% у порівнянні з трьома аналогами і зменшити усереднене значення імовірності помилок 1-го та 2-го роду на 20%.

Розроблена в роботі технологія, методи, які є її складовими доведені до програмного забезпечення, придатного в практиці побудови інформаційних систем моніторингу. Розроблено відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення, що дозволило виконати верифікацію розроблених методів та інформаційної системи.

За результатами натурного та симуляційних експериментів, оцінювання та впровадження результатів дисертаційного дослідження досягнуто підвищення точності визначення психологічних коефіцієнтів з використанням інформаційної технології на 8-10% у порівнянні з аналогами і зменшення усередненого значення імовірності помилок 1-го та 2-го роду на 20%.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в ТОВ “СВІТ ЛАСОЦІВ” – для підвищення ефективності систем відеоспостереження при використанні модуля первинного відеомоніторингу та в освітній процес Черкаського державного технологічного університету при викладанні дисциплін: “Аналіз, моделювання та проектування архітектури інформаційних систем”, “Методології створення інформаційних систем” здобувачам вищої освіти рівня бакалавр та магістр спеціальності “Інформаційні системи та технології”.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ponemon Institute; DTEX Systems. 2025 Cost of insider risks global report. 2025. URL: <https://ponemon.dtexsystems.com> (дата звернення: 01.11.2025).
2. IBM Security. Cost of a Data Breach Report 2024. 2024. URL: <https://www.ibm.com/reports/data-breach> (дата звернення: 04.10.2025).
3. Psychosocial modeling of insider threat risk based on behavioral and word use analysis / F.L. Greitzer et al. *e-Service Journal*. 2013. № 9(1). P. 106-138.
4. Understanding insider threat: a framework for characterizing attacks / J.R.C. Nurse at al. *IEEE Security & Privacy Workshops*. 2014. P. 214-228.
5. Cybersecurity Insiders. 2024 Insider Threat Report: Trends, Challenges, and Solutions. 2024. URL: [https://www.cybersecurity-insiders.com/wp-content/uploads/2024-Insider-Threat\\_Report-Securonix.pdf](https://www.cybersecurity-insiders.com/wp-content/uploads/2024-Insider-Threat_Report-Securonix.pdf) (дата звернення: 04.10.2025).
6. Future Market Insights. Insider threat protection market analysis size and share forecast outlook 2025-2035 / S. Saha. Future Market Insights, 2025. 520 p. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/insider-threat-protection-market> (дата звернення: 01.11.2025).
7. Кальниш В.В. Моніторинг психофізіологічних функцій операторів у процесі їх трудової діяльності. Український журнал з проблем медицини праці. 2019. Т. 15, № 3. С. 204-215.
8. Гуцуляка Н.П. Застосування сучасних технологій оцінювання та діагностики персоналу. *Збірник наукових праць ТДАТУ імені Дмитра Моторного (економічні науки)*. 2019. № 2(40). С. 29-38.
9. Музика О.Л., Музика О.О., Оснадчук Ю.О. Розроблення е-платформи для психологічного онлайн-тестування обдарованих старшокласників і студентів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2022. Том 89, № 3. С. 162-177.
10. Кузьменко М.Д., Дегтярьов А.С., Кіка І.А., Кузенков В.С. Особливості організації та проведення онлайн психологічного вивчення персоналу Збройних Сил України. Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки. 2022. № 1(1). С. 39-44.



11. Moving toward the digitalization of neuropsychological tests: an exploratory study on usability and operator perception / M.G. Maggio et al. *Digital Health*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1177/20552076251334449> (дата звернення: 02.11.2025)
12. Lee P., Son M., Jia Z. AI-powered automatic item generation for psychological tests: a conceptual framework for an LLM-based multi-agent AIG system. *Journal of Business and Psychology*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1007/s10869-025-10067-y>
13. Сучасна технологія оцінювання персоналу та кадрового потенціалу організації і її соціально-психологічний аспект: наук. розробка / В.М. Мартиненко та ін. К. : НАДУ, 2013. 52 с.
14. Al-Nawashi M., Al-Hazaimeh O.M., Saraee M. A novel framework for intelligent surveillance system based on abnormal human activity detection in academic environments. *Neural Computing & Applications*. 2017. Vol. 28. P. 565-572.
15. Оцінка ефективності детекторів руху на базі SAD-алгоритму в інтелектуальних системах відеоспостереження та відеоаналітики / В.Б. Баляр та ін. *Цифрові технології*. 2019. № 25. С. 81-110.
16. Detection of (hidden) emotions from videos using muscles movements and face manifold embedding / J. Kim et al. *arXiv*. 2022. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.00233> (дата звернення: 05.04.2025).
17. Determining the psycho-emotional state of the observed based on the analysis of video observations / Ye. Amirgaliyev et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1, № 2(127). P. 45-53.
18. Одінцова А.М. Психолінгвістичні маркери мовлення осіб у різних емоційно-психічних станах. *Психологічні перспективи*. 2017. Вип. 29. С. 280-290.
19. Psychometric evaluation of large language model embeddings for personality trait prediction / J. Maharjan et al. *Journal of Medical Internet Research*. 2025. Vol. 27. URL: <https://doi.org/10.2196/75347> (дата звернення: 12.10.2025).
20. Towards dynamic theory of mind: evaluating LLM adaptation to temporal evolution of human states / Y. Xiao et al. *Proceedings of the 63<sup>rd</sup> annual meeting of the association for computational linguistics (volume 1: long papers)*, Vienna, Austria. Stroudsburg, PA, USA, 2025. P. 24036-24057.

21. Sert B., Ulker S.V. A review of LIWC and machine learning approaches on mental health diagnosis. *Social Review of Technology and Change*. 2023. Vol. 1, Issue 2. P. 71-92.
22. When LLMs meet acoustic landmarks: an efficient approach to integrate speech into large language models for depression detection / X. Zhang et al. *Proceedings of the 2024 conference on empirical methods in natural language processing*, Miami, Florida, USA. Stroudsburg, PA, USA, 2024. P. 146-158.
23. Machine learning for multimodal mental health detection: a systematic review of passive sensing approaches / L.S. Khoo et al. *Sensors*. 2024. № 24(2). URL: <https://doi.org/10.3390/s24020348> (дата звернення: 05.09.2025).
24. A review of emotion recognition using psychological signals / L. Shu et al. *Sensors*. 2018. № 18(7). URL: <https://doi.org/10.3390/s18072074> (дата звернення: 07.09.2025).
25. Picard R.W. *Affective Computing*. Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 2000. 306 p.
26. Сторчак В.С. Принципи побудови перспективних тренажерних систем підготовки операторів автоматизованих систем управління повітряним рухом. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 4. С. 31-36.
27. Шмельова Т.Ф. Моделювання поведінкової діяльності людини-оператора в авіаційній соціотехнічній системі. *Системи обробки інформації*. 2012. № 2 (100). С. 145-154.
28. Method development of the information models' design and synthesis for infocommunication systems of air traffic control / I. Borozenec et al. *Advanced Information Systems*. 2019. № 3(3). P. 37-42.
29. System for detecting critical human health conditions based on the analysis of psychological indicators / O. Barkovska et al. *Control, Navigation and Communication Systems*. 2025. № 1. P. 13-24.
30. Developing the comprehensive technology for alternative management of complex organizational and technological objects in the conditions of cyber threats / T. Prokopenko et al. *CEUR WS*. 2022. Vol. 3187. P. 170-181.

31. Alsowail R.A., Al-Shehari T. Techniques and countermeasures for preventing insider threats. *PeerJ Computer Science*. 2022. Vol. 8. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.938> (дата звернення: 07.09.2025).
32. Saddica M., Ruohonen J. SoK: the psychology of insider threats. *EAI Endorsed Transactions on Security and Safety*. 2025. Vol. 9, № 1. URL: <https://doi.org/10.4108/eetss.v9i1.9298> (дата звернення: 05.11.2025).
33. Пасека І.О., Сєверінов О.М. Проблеми впровадження системи аналітики поведінки користувачів та сутностей. *Global Cyber Security Forum 2019 : матеріали I міжнародного науково-практичного форуму з інформаційної безпеки (м. Харків, 14-16 листопада 2019 р.)*. Харків, 2019. С. 82-83.
34. Жебка В.В. Інформаційні технології моніторингу гетерогенних мереж в режимі реального часу. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. № 3(27). С. 591-603.
35. Shapoval V.P., Tarasenko Ya.V., Lavdanska O.V. Information-technological aspects of ethical processing of personal data in combined remote monitoring information systems. *Science in the Environment of Rapid Changes : the Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference (Brussels, December 26-28, 2025)*. Brussels, Belgium. № 227. P. 423-425.
36. Floridi L., Cowls J. A unified framework of five principles for AI in society. *Harvard Data Science Review*. 2019. № 1(1). URL: <https://doi.org/10.1162/99608f92.8cd550d1> (дата звернення: 24.10.2025).
37. The ethics of algorithms: mapping the debate / B.D. Mittelstadt et al. *Big Data & Society*. 2016. Vol. 3, Issue 2. URL: <https://doi.org/10.1177/2053951716679679> (дата звернення: 24.10.2025).
38. Бойко А.М. Межі правомірного обігу біометричних персональних даних за законодавством України. *Правові новели*. 2020. № 10. С. 142-146.
39. Privacy by design in practice: reasoning about privacy properties of biometric system architectures / J. Bringer et al. *FM 2015: formal methods*. Cham, 2015. P. 90-107.
40. Capulli E., Druda Y., Palmese F. et al. Ethical and legal implications of health monitoring wearable devices: A scoping review. *Social Science & Medicine*. 2025.

Vol. 370. URL: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2025.117685> (дата звернення: 01.11.2025).

41. Le Métayer D. Privacy by design. *The third ACM conference on Data and application security and privacy*, San Antonio, Texas, USA, 18-20 February 2013. New York, New York, USA, 2013. P. 95-104.

42. Shneiderman B. Bridging the gap between ethics and practice: guidelines for reliable, safe, and trustworthy human-centered AI systems. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*. 2020. Vol. 10, Issue 4. P. 1-31.

43. Dwork C., Roth A. The algorithmic foundations of different privacy. *Foundations and Trends in Theoretical Computer Science*. 2014. Vol. 9. P. 211-407.

44. Ajunwa I. The paradox of automation as anti-bias-intervention. *Cardozo Law Review*. 2020. Vol. 41, Issue 5. P. 1671-1742.

45. Gurses S., Troncoso C., Diaz C. Engineering privacy by design. *Proceedings of the Conference on Computers, Privacy & Data Protection (CPDP 2011)*, Brussels, Belgium. 2011. URL: <https://software.imdea.org/~carmela.troncoso/papers/Gurses-CPDP11.pdf> (дата звернення: 09.09.2025).

46. Closing the AI accountability gap / Raji I.D. et al. *FAT\* '20: conference on fairness, accountability, and transparency*, Barcelona Spain. New York, NY, USA, 2020. Proceedings of ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. 2020. P. 33-44.

47. Шаповал В.П. Прикладне застосування методів комп'ютерної лінгвістики в задачах психодіагностики. *Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції (м. Черкаси, 9 грудня 2022 р.): зб. наукових праць*. 2022. С. 87.

48. Kemper T.D., Lazarus R.S. Emotion and Adaptation. *Contemporary sociology*. 1992. Vol. 21, № 4. P. 522.

49. Scherer K.R. Psychological models of emotion. *The Neuropsychology of Emotion* / J.C. Borod, Ed. Oxford University Press, New York, 2000. P. 137-162.

50. Baltrusaitis T., Ahuja C. Morency L.-P. Multimodal machine learning: a survey and taxonomy. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2019. Vol. 41, № 2. P. 423-443.

51. Doshi-Velez F., Kim B. Towards a rigorous science of interpretable machine learning. *arXiv*. 2017. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.08608> (дата звернення: 04.10.2025).

52. Greitzer F.L., Frincke D.A. Combining traditional cyber security audit data with psychological data: towards predictive modeling for insider threat mitigation. *Insider threats in cyber security*. Boston, MA, 2010. P. 85-113.

53. Тарасенко Я.В., Підласий Д.А., Шаповал В.П. Метод аналізу ефективності інформаційних технологій протидії деструктивному інформаційно-психологічному впливу. *Проблеми інформатизації: тези доповідей десятої міжнародної науково-технічної конференції (м. Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків, 24-25 листопада 2022 р.)*: зб. наукових праць. Т. 1. 2022. С. 86.

54. A survey on concept drift adaptation / J. Gama et al. *ACM Computing Surveys*. 2014. Vol. 46, Issue 4. URL: <https://doi.org/10.1145/2523813> (дата звернення: 24.10.2025).

55. AI4People – an ethical framework for a good AI society: opportunities, risks, principles, and recommendations / L. Floridi et al. *Minds and machines*. 2018. Vol. 28, № 4. P. 689-707.

56. Connecting the dots in trustworthy Artificial Intelligence: from AI principles, ethics, and key requirements to responsible AI systems and regulation / N. Díaz-Rodríguez et al. *Information Fusion*. 2023. Vol. 99. URL: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.101896> (дата звернення: 24.10.2025).

57. Тарасенко Я.В., Шаповал В.П. Проблеми застосування психодіагностичних інформаційних систем в умовах інформаційного протиборства. *Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції (м. Черкаси, 6 грудня 2023 р.)*: зб. наукових праць. 2023. С. 85.

58. Мельничук О.Д. Невербальна комунікація: від семіотики до міждисциплінарних теорій. *Сучасні філологічні дослідження та навчання іноземної мови в контексті міжкультурної комунікації : Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих науковців за міжнародної участі (м. Житомир, 23 листопада 2018 р.)*. Житомир: Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка, 2018. С. 278-283.

59. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2025. Том 36 (75), № 2. Частина 2. С. 222-227.

60. Дослідження результативності класифікаторів зображень за статистичними розподілами для компонентів структурного опису / В.О. Гороховатський та ін. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 1. С. 5-11.

61. Li Y. Deep Learning of Human Emotion Recognition in Videos. Uppsala University, 2017. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1174434/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення: 03.03.2025)

62. Меренкова О.В., Медвідь Т.А., Бойко А.О. Факторний аналіз імовірнісної оцінки ризику використання послуг банків для легалізації кримінальних доходів або фінансування тероризму. *Вісник Національного банку України*. 2010. № 11. С. 124–130.

63. Mollahosseini A., Hasani B., Mahoor M.H. AffectNet: a database for facial expression, valence, and arousal computing in the wild. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2019. Vol. 10, № 1. P. 18-31.

64. OpenPose: realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields / Z. Cao et al. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/tpami.2019.2929257> (дата звернення: 07.09.2025).

65. Recurrent neural networks for emotion recognition in video / S. Ebrahimi Kahou et al. *ICMI'15: International conference on multimodal interaction*, Seattle Washington USA. New York, NY, USA, 2015. URL: <https://doi.org/10.1145/2818346.2830596> (дата звернення: 12.09.2025).

66. Video-based emotion recognition using CNN-RNN and C3D hybrid networks / Y. Fan et al. *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction (ICMI'16)*. New York, NY, USA : ACM, 2016. P. 445-450.
67. Shiffman S., Stone A.A., Hufford M.R. Ecological momentary assessment. *Annual review of clinical psychology*. 2008. Vol. 4, № 1. P. 1-32.
68. Cohn M.A., Mehl M.R., Pennebaker J.W. Linguistic markers of psychological change surrounding september 11, 2001. *Psychological science*. 2004. Vol. 15, № 10. P. 687-693.
69. Personality, gender, and age in the language of social media: the open-vocabulary approach / H.A. Schwartz et al. *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8, № 9. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073791> (дата звернення: 17.09.2025).
70. Kelley S.W., Gillan C.M. Using language in social media posts to study the network dynamics of depression longitudinally. *Nature communications*. 2022. Vol. 13, № 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28513-3> (дата звернення: 17.09.2025).
71. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників для динамічних систем безперервного моніторингу психологічного стану. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025. № 4 (95). Частина 3. С. 301-308.
72. Multimodal fusion for multimedia analysis: a survey / P. K. Atrey et al. *Multimedia systems*. 2010. Vol. 16, № 6. P. 345-379.
73. Khuri A.I. Introduction to linear regression analysis, fifth edition by Douglas C. Montgomery, Elizabeth A. Peck, G. Geoffrey Vining. *International statistical review*. 2013. Vol. 81, № 2. P. 318-319.
74. Tausczik Y. R., Pennebaker J. W. The psychological meaning of words: LIWC and computerized text analysis methods. *Journal of language and social psychology*. 2009. Vol. 29, № 1. P. 24-54.
75. Multimodal observable cues in mood, anxiety, and borderline personality disorders: a review of reviews to inform explainable AI in mental health / G. Močnik et al. *Frontiers in artificial intelligence*. 2025. Vol. 8. URL: <https://doi.org/10.3389/frai.2025.1696448> (дата звернення: 11.12.2025).

76. Uncertainty-Aware multi-modal learning via cross-modal random network prediction / H. Wang et al. *Lecture notes in computer science*. Cham, 2022. P. 200-217.

77. Knowledge-Guided dynamic modality attention fusion framework for multimodal sentiment analysis / X. Feng et al. *Findings of the association for computational linguistics: EMNLP 2024*, Miami, Florida, USA. Stroudsburg, PA, USA, 2024. P. 14755-14766.

78. Harnessing multimodal approaches for depression detection using large language models and facial expressions / M. Sadeghi et al. *Npj mental health research*. 2024. Vol. 3, № 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s44184-024-00112-8> (дата звернення: 07.10.2025).

79. Shapoval V.P., Tarasenko Ya.V. IoT technologies in adaptive intelligent remote measurement of psychophysiological deviations during work processes. *Scientific Community: Interdisciplinary Research: the Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference (Hamburg, November 6-8, 2025)*. Hamburg, Germany. P. 285-287.

80. Software engineering for machine learning: a case study / S. Amershi et al. 2019 IEEE/ACM 41<sup>st</sup> international conference on software engineering: software engineering in practice (ICSE-SEIP), Montreal, QC, Canada, 25-31 May 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/ICSE-SEIP.2019.00042> (дата звернення: 07.10.2025).

81. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Інформаційна система інтелектуального вимірювання коефіцієнтів психологічного стану. *Зв'язок*. 2025. № 6 (178). С. 66-72.

82. Григоришен О.О., Колесник І.С., Савицька Л.А. Інформаційно-аналітична система визначення психологічного стану людини. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2021. № 3. С. 4-9.

83. Technical debt in machine learning systems. *Technical debt in practice*. 2021. URL: <https://doi.org/10.7551/mitpress/12440.003.0011> (дата звернення: 02.10.2025).

84. Бісікало О., Кудрик О. База знань інтелектуальної інформаційної системи прогнозування фазової стабільності твердих розчинів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2023. Том 56, № 1. С. 13-21.



85. Giarre L., Falugi P., Badalamenti R. Hybrid LPV modeling and identification. *Linear parameter-varying system identification*. 2011. P. 11-39.
86. Zhu F., Tan C. Consensus control of linear parameter-varying multi-agent systems with unknown inputs. *Sensors*. 2023. Vol. 23, № 11. URL: <https://doi.org/10.3390/s23115125> (дата звернення: 08.10.2025).
87. Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of control, signals, and systems*. 1989. Vol. 2, № 4. P. 303-314.
88. Hosmer D.W., Lemeshow S., Sturdivant R.X. Applied logistic regression. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2013. 528 p.
89. Tarasenko Ya., Chervotoka O., Orlov S., Lada N., Shapoval V., Piskozub A. A model of a secure information system for cognitive data processing in IoT sensor networks for laboratory climatic testing. *CEUR WS*. 2025. Vol. 4042. P. 90-104.
90. Генерація послідовності несиметричних CET-операцій з точністю до перестановки другого операнда / В. Рудницький та ін. *Інформаційні технології та суспільство*. 2025. № 1 (16). С. 221-226.
91. Two-Operand operations of strict stable cryptographic coding with different operands' bits / D. Jancarczyk et al. *2020 IEEE 5th international symposium on smart and wireless systems within the conferences on intelligent data acquisition and advanced computing systems (IDAACS-SWS)*, Dortmund, 17-18 September 2020. 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/idaacs-sws50031.2020.9297067> (дата звернення: 02.10.2025).
92. Machine learning for human emotion recognition: a comprehensive review / E. M. G. Younis et al. *Neural computing and applications*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1007/s00521-024-09426-2> (дата звернення: 15.11.2025).
93. Eye-Tracking analysis for emotion recognition / P. Tarnowski et al. *Computational intelligence and neuroscience*. 2020. Vol. 2020. P. 1-13.
94. Development and validation of a gradient boosting machine to predict prognosis after liver resection for intrahepatic cholangiocarcinoma / G.-W. Ji et al. *BMC cancer*. 2022. Vol. 22, № 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12885-022-09352-3> (дата звернення: 15.11.2025).

## ДОДАТКИ

**ДОКУМЕНТИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ  
ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

“СВІТ ЛАСОЩІВ”

18030, УКРАЇНА, м. Черкаси, вул. Чигиринська, 11  
71-02-30 факс 8-0472-71-02-29

№ \_\_\_\_\_

« 19 » жовтня 2023 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ  
результатів дисертаційного дослідження  
Шаповала Володимира Петровича  
на ТОВ “СВІТ ЛАСОЩІВ”**

Для підвищення ефективності систем відеоспостереження при використанні модуля первинного відеомоніторингу в ТОВ “СВІТ ЛАСОЩІВ” було використано наукові результати дисертаційного дослідження, одержані Шаповалом Володимиром Петровичем, зокрема:

1) метод інтелектуального відеоконтролю на основі покадрового оцінювання та інтервального агрегування;

2) підхід до використання модуля первинного відеомоніторингу у складі системи відеоспостереження для виявлення поведінкових девіацій та формування індикаторів, придатних для подальшої аналітичної обробки.

Використання зазначених наукових результатів дало можливість підвищити ефективність функціонування систем відеоспостереження за рахунок автоматизованого виділення первинних індикаторів поведінкових змін та зменшити навантаження на персонал, відповідальний за спостереження й аналіз відеоданих.

Зазначені наукові результати реалізовано у вигляді програмного модуля первинного відеомоніторингу, придатного до використання в системах відеоспостереження підприємства та подальшої інтеграції в інформаційно-аналітичні засоби обробки даних.

Виконавчий директор



О.В. Прудивус



ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Черкаського державного  
технологічного університету

Олег ГРИГОР

“11”

2026 р.

АКТ

**про впровадження матеріалів дисертаційного дослідження  
Шаповала Володимира Петровича в навчальний процес  
Черкаського державного технологічного університету**

Одержані результати дисертаційної роботи здобувача освітньо-наукового рівня доктора філософії Шаповала В.П. використано кафедрою інформаційних технологій проектування в освітньому процесі при реалізації освітньо-професійної програми “Web-технології, Web-дизайн” першого (бакалаврського) рівня вищої освіти (спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології) при викладанні обов’язкового освітнього компоненту циклу професійної підготовки “Аналіз, моделювання та проєктування архітектури інформаційних систем”, при реалізації освітньо-професійної програми «IT Project Management» другого (магістерського) рівня вищої освіти (спеціальності F6 – Інформаційні системи та технології) при викладанні обов’язкового освітнього компоненту циклу професійної підготовки “Методології створення інформаційних систем”.

До лекційних курсів включено такі результати, одержані автором:

1. Двофазний метод інтелектуального вимірювання та уточнення показників із регресійним узгодженням, що забезпечує тригеризацію уточнення та повторне оцінювання показників безперервного моніторингу.

2. Адаптивна ф’южн-модель узгодження вагових коефіцієнтів між модальностями з формуванням інтегрально узгоджених показників, яка реалізує динамічне балансування внеску каналів спостереження.

3. Архітектурно-алгоритмічні рішення інформаційної системи інтелектуального вимірювання, зокрема дворівнева архітектура та параметрично-динамічне прогнозування із застосуванням кореляційно-регресійного аналізу.

Впровадження зазначених результатів у навчальний процес дозволило поглибити розгляд сучасних підходів до аналізу та проєктування архітектури інформаційних систем, методологій створення інформаційних систем, мультимодальної інтеграції даних, алгоритмів узгодження / калібрування та експериментального оцінювання якості рішень у контексті розроблення інформаційних систем моніторингу та підтримки прийняття рішень.

Зав. кафедри ІТП, д.т.н., проф.

Тетяна ПРОКОПЕНКО

Доцент кафедри ІТП, к.т.н., доц.

Євген ЛАНСЬКИХ

Старший викладач кафедри ІТП, к.т.н.

Дмитро КАТАЄВ

**АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ**

Алгоритм роботи методу інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану

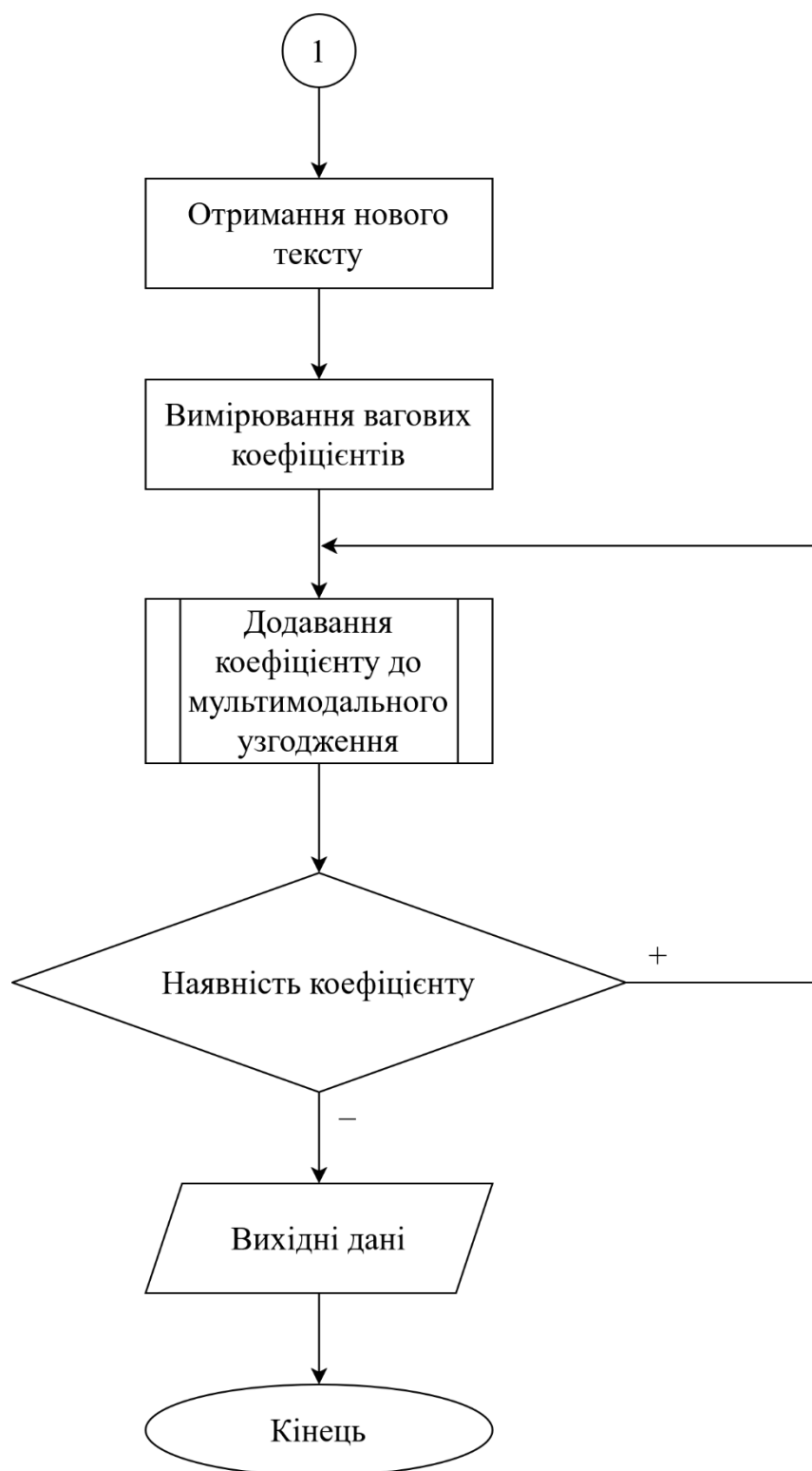






Алгоритм роботи методу інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників





**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА  
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**  
**Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових**  
**видань України (категорія “Б”)**

1. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Метод інтелектуального відеоконтролю первинних ознак психологічного стану. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2025. Том 36 (75), № 2. Частина 2. С. 222-227. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.2/30>

2. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Метод інтелектуального вимірювання психолінгвістичних показників для динамічних систем безперервного моніторингу психологічного стану. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025. № 4 (95). Частина 3. С. 301-308. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.3.35>

3. Шаповал В.П., Тарасенко Я.В. Інформаційна система інтелектуального вимірювання коефіцієнтів психологічного стану. *Зв'язок*. 2025. № 6 (178). С. 66-72. DOI: <https://doi.org/10.31673/2412-9070.2025.061201>

**Стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому в базі даних Scopus**

1. Tarasenko Ya., Chervotoka O., Orlov S., Lada N., Shapoval V., Piskozub A. A model of a secure information system for cognitive data processing in IoT sensor networks for laboratory climatic testing. *CEUR WS*. 2025. Vol. 4042. P. 90-104. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17501340>

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

1. Тарасенко Я.В., Підласий Д.А., Шаповал В.П. Метод аналізу ефективності інформаційних технологій протидії деструктивному інформаційно-психологічному впливу. *Проблеми інформатизації: тези доповідей десятої міжнародної науково-технічної конференції (м. Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків, 24-25 листопада 2022 р.)*: зб. наукових праць. Т. 1. 2022. С. 86.

2. Шаповал В.П. Прикладне застосування методів комп'ютерної лінгвістики в задачах психодіагностики. *Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної*

Інтернет-конференції (м. Черкаси, 9 грудня 2022 р.): зб. наукових праць. 2022. С. 87.

3. Тарасенко Я.В., Шаповал В.П. Проблеми застосування психодіагностичних інформаційних систем в умовах інформаційного протиборства. *Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції (м. Черкаси, 6 грудня 2023 р.): зб. наукових праць. 2023. С. 85.*

4. Shapoval V.P., Tarasenko Ya.V. IoT technologies in adaptive intelligent remote measurement of psychophysiological deviations during work processes. *Scientific Community: Interdisciplinary Research: the Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference (Hamburg, November 6-8, 2025)*. Hamburg, Germany. P. 285-287.

5. Shapoval V.P., Tarasenko Ya.V., Lavdanska O.V. Information-technological aspects of ethical processing of personal data in combined remote monitoring information systems. *Science in the Environment of Rapid Changes : the Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference (Brussels, December 26-28, 2025)*. Brussels, Belgium. № 277. P. 423-425.

Таблиця В.1

#### Апробація результатів дисертаційної роботи

№ з/п	Тип конференції	Назва конференції	Місце і дата проведення	Тип участі
1.	Міжнародна науково-технічна конференція	Проблеми інформатизації	Черкаси, 24-25.11.2022	очна
2.	Міжнародна науково-практична конференція	Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій	Черкаси, 09.12.2022	очна
3.	Міжнародна науково-практична конференція	Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій	Черкаси, 06.12.2023	очна
4.	International Scientific and Technical Conference	Scientific Community: Interdisciplinary Research	Гамбург, 06-08.11.2025	дистанційна
5.	International Scientific and Technical Conference	Science in the Environment of Rapid Changes	Брюссель, 26-28.12.2025	дистанційна