

Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**МИХАЛЬЧУК ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 004.9; 004.8:150.159 + 519.8(62-5)

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА  
ОСНОВІ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНИХ ДАНИХ**

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

\_\_\_\_\_ Михальчук В. В.

Науковий керівник Дружинін Володимир Анатолійович, д.т.н., проф.

Київ - 2025

## АНОТАЦІЯ

*Михальчук В. В.* Моделі та методи підтримки прийняття рішень на основі електроенцефалографічних даних. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології». - Київський національний університет імені Тараса Шевченка МОН України, Київ, 2025.

За матеріалами дисертації опубліковано: 17 робіт, з яких 3 – це статті, що входять до переліку фахових видань затверджених МОН України за спеціальністю дисертації або у періодичних виданнях іноземних держав, 14 – публікації у матеріалах конференцій, у тому числі міжнародних.

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню актуальної науково-практичної задачі зменшення ймовірності прийняття помилкових рішень за рахунок використання запропонованої інформаційної технології зменшення впливу когнітивних упереджень в нейроосвітньому середовищі.

Дисертаційна робота є вагомим внеском у вирішенні актуальних завдань підвищення продуктивності у проектній діяльності та оптимізації нейрокомп’ютерних середовищ.

Зміст дисертаційного дослідження викладено у трьох розділах, у кожному з яких представлено з поясненням основні наукові результати дослідження:

**У вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи: виявлено наявність протиріччя між недостатньою ефективністю існуючого науково-методичного апарату вирішення завдань зменшення впливу когнітивних упереджень в нейроосвітніх середовищах та зростаючими запитам на їх більш ефективні рішення в практичній діяльності суспільства; окреслено вплив когнітивних упереджень на прийняття рішень, пояснена важливість зменшення впливу цього впливу; підкреслено важливість ролі тренування

нейропластичності для підвищення точності прийняття рішень і якості професійної діяльності.

Сучасні можливості нейро-комп'ютерних інтерфейсів та їхня доступність дозволяють впроваджувати технології моніторингу ментального здоров'я та якості прийняття рішень як на робочих місцях так і в повсякденній діяльності. Обчислення показників робочого навантаження, уваги та стресу якісно отримуються з користувацьких портативних електроенцефалографів, доступних сьогодні у вигляді мобільних пристроїв типу гарнітури.

Багаторічний досвід впровадження ІТ забезпечив появу хмарних середовищ і баз даних, які постійно оновлюються (сформувалося певне нейро-комп'ютерне суспільство). Можливості сучасних ІТ дозволяють створювати інформаційні системи з модулем зменшення впливу когнітивних упереджень для реалізації певних нейроосвітніх стратегій. Такі системи можуть забезпечувати одночасно кілька завдань, такі як: моніторинг ментального здоров'я, розвиток емоційного інтелекту, покращення ергономічності робочого місця та планування здорового режиму дня. Виходячи з цього сформульовано мету та визначено завдання дослідження, надано інформацію про наукову та практичну новизну роботи, апробацію основних результатів дослідження на науково-практичних конференціях та їх публікацію у формі статей у фахових виданнях.

У *першому* розділі на основі розгляду наукових джерел проведено аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку науково-методичного апарату, використання якого дозволяє на практиці реалізувати зменшення впливу когнітивних упереджень в нейроосвітніх середовищах та виявлено протиріччя між можливостями існуючих нейро-комп'ютерних технологій у сфері проектної діяльності і повсякденному використанні та вимогами до точності прийняття рішень в сучасних умовах. Розглянуто сутність когнітивних упереджень, стан вивченості розглянутої в роботі теми, окреслено практичну важливість впровадження запропонованої в роботі системи підтримки рішень.

Детально розглянуті показники точності отриманих результатів, які були використані у попередніх дослідженнях за даним напрямком та визначено їх можливі і бажані значення відповідно до сучасних вимог. Проведений аналіз існуючих методів дослідження когнітивних упереджень та їхній зв'язок з прийняттям рішень з погляду когнітивної активності у системі «людина-середовище» та визначені їх переваги та недоліки та підставі яких сформульоване наукове завдання дослідження. Розділ завершується висновками, які резюмують ключові аспекти реалізації зменшення впливу когнітивних упереджень під час прийняття рішень за рахунок вирішення поставленого в роботі наукового завдання.

У *другому* розділі здійснене порівняння існуючих моделей оцінювання та зменшення впливу когнітивних упереджень для подальшого їх використання у запропонованих в роботі нейроосвітніх стратегіях. Розглянуті основні методи досліджень дії когнітивних упереджень на підставі використання нейрокомп'ютерних інтерфейсів, опитувань, спеціальних експериментів та результати отримані в ході випробування в імітованих та реальних умовах, виявленні їх переваги та недоліки використання. Розглянуті процедури тестування нейрограмотності та тренування нейропластичності, утриманні уваги, контролю когнітивного стресу. Вдосконалені моделі відстеження когнітивних упереджень та оцінювання їх впливу за вразливими показниками за рахунок використання результатів розширеного суб'єктивного аналізу або персоналізації структури тренувань, що надає можливість оцінювати вхідні впливи та будувати більш ефективні стратегії зменшення впливу когнітивних упереджень, розраховані на покращення одночасно кількох когнітивних показників у комплексному тренуванні. Визначені обмеження для впровадження запропонованих моделей.

*Третій розділ* дослідження присвячено вирішенню окресленої науково-прикладної задачі зменшення ймовірності прийняття помилкових рішень за рахунок використання вперше запропонованого вирішуючого правила на основі оцінки втрат для системи підтримки прийняття рішень. В розділі запропоновано відповідну систему підтримки рішень в проектній діяльності на основі гібридної

нейро-нечіткої мережі та когнітивної карти ситуації для аналізу часових рядів. Наведено порівняльну оцінку ефективності запропонованої та існуючих технологій зменшення впливу когнітивних упереджень в нейроосвітньому середовищі. Розглянуто можливі варіанти сценаріїв з визначеними альтернативами при застосуванні запропонованої в роботі системи підтримки рішень.

*Наукова новизна* одержаних результатів при виконанні дисертаційної роботи полягає у наступному:

1. Отримали подальший розвиток існуючі методи моніторингу когнітивної складової системи «мозок-комп'ютер» або «людина-середовище», визначені впливи когнітивних упереджень на точність прийняття рішень та шляхи її оцінювання, окреслено обмеження, вимоги та сучасні можливості, зокрема в задачі підвищення точності прийняття рішень в проектній діяльності.

2. Вдосконалено моделі відстеження когнітивних упереджень та оцінювання їх впливу за вразливими показниками за рахунок використання результатів розширеного суб'єктивного аналізу або персоналізації структури тренувань, що надає можливість оцінювати вхідні впливи та будувати більш ефективні стратегії зменшення впливу когнітивних упереджень, розраховані на покращення одночасно кількох когнітивних показників у комплексному тренуванні. Визначені обмеження для впровадження запропонованих моделей.

3. Вдосконалено метод порівняння моделей відстеження когнітивних упереджень за рахунок використання результатів комплексного аналізу об'єктивності отриманої інформації, що дозволяє оцінити прогнозовану ефективність моделей за визначеними показниками, враховуючи індивідуальну різницю когнітивних показників.

4. Вперше запропоновано вирішуюче правило на основі оцінки втрат з врахуванням ваг впливу когнітивних показників, що дозволяє на відміну від попередніх методів досягти вищої точності виявлення впливу та прогнозування ризиків прийняття помилкових рішень.

*Практичне значення* отриманих результатів полягає в тому, що:

Впровадження запропонованих в дисертаційній роботі методів і моделей надають можливість реалізувати тренування нейропластичності із результуючим зменшенням впливу когнітивних упереджень, що на 8% підвищує точність прийняття рішень, на 12% - час утримання уваги та на 7% - продуктивність (скорочення часу дії та контрольованість виникнення втоми) протягом 6 місяців занять за запропонованою нейроосвітньою стратегією. Данну технологію можна використовувати для підкріплення засобів підтримки ментального здоров'я та оптимізації професійної діяльності, що надає можливість підсилення контролю уваги на 14%, зосередженості на 12% та зменшення когнітивного стресу на 8%. При цьому, закріплення досягнутого рівня нейрограмотності зберігається протягом 3 місяців для елементарних завдань та на протязі 6 місяців для складних завдань. Практичне впровадження запропонованих методів та моделей поширює нейро-комп'ютерну грамотність та розвиває емоційний інтелект. Використання запропонованої модифікованої системи підтримки прийняття рішень дозволяє учасникам тренувань отримати 1-й або 2-й рівні нейрограмотності, підвищити якість нейросигналу (тривалість і якість утримання стану ментального зусилля, контролю «потоків» та емоцій) на 7% протягом 9 місяців тренувань.

Отримані в ході дисертаційних досліджень нові теоретичні та практичні результати були реалізовані у науково-дослідницькій роботі «23КП064-01 Інформаційні технології аналізу та прогнозування процесів, інваріантних до предметної області».

Ключові слова: зменшення впливу когнітивних упереджень, неінвазивний нейро-комп'ютерний інтерфейс, інформаційна технологія, математичне моделювання, експертне оцінювання, перевірка статистичних гіпотез, кореляція, інформаційна система, нечітка логіка, нечітка система, прийняття рішень, нейронні мережі, частота дискретизації, канал зв'язку, методи аналізу, Інтернет речей, правильність прийняття рішень, багатокритеріальна оцінка, прогнозні моделі, штучний інтелект.

## ABSTRACT

*Mykhalchuk V.* Models and methods for decision support based on electroencephalographic data. - Qualifying scientific work as a manuscript.. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 12 "Information Technologies" in the specialty F126 "Information Systems and Technologies." - Taras Shevchenko National University of Kyiv, MES of Ukraine, Kyiv, 2025.

Based on the materials of the dissertation, 17 works have been published, of which 3 are articles included in the list of professional publications approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine in the specialty of the dissertation or in periodicals of foreign states, 14 are publications in the materials of conferences, including international ones.

The dissertation is devoted to solving the current scientific and practical problem of reducing the probability of making erroneous decisions by using the proposed information technology for mitigating cognitive biases in the neuro-educational environment.

The dissertation is a significant contribution to solving the current problems of increasing productivity in project activities and optimizing neuro-computer environments.

The content of the dissertation research is presented in three sections, each of which presents the main scientific results of the research with an explanation:

The introduction substantiates the relevance of the chosen topic of the dissertation work: the presence of a contradiction between the insufficient effectiveness of the existing scientific and methodological apparatus for solving the problems of mitigating cognitive biases in neuro-educational environments and the growing demands for their more effective solutions in the practical activities of society is revealed; the influence of cognitive biases on decision-making is outlined, the

importance of mitigating this influence is explained; the importance of the role of neuroplasticity training for increasing the accuracy of decision-making and the quality of professional activity is emphasized.

Modern capabilities of neuro-computer interfaces and their availability allow the implementation of technologies for monitoring mental health and the quality of decision-making both in the workplace and in everyday activities. Calculations of workload, attention and stress indicators are qualitatively obtained from user-friendly portable electroencephalographs, available today in the form of mobile devices such as headsets.

Many years of experience in implementing IT have ensured the emergence of cloud environments and databases that are constantly updated (a certain neuro-computer society has been formed). The capabilities of modern IT allow the creation of information systems with a cognitive bias mitigation module for the implementation of certain neuro-educational strategies. Such systems can simultaneously provide several tasks, such as: monitoring mental health, developing emotional intelligence, improving workplace ergonomics and planning a healthy daily routine. Based on this, the goal is formulated and the research tasks are defined, information is provided about the scientific and practical novelty of the work, the testing of the main research results at scientific and practical conferences and their publication in the form of articles in professional publications.

*In the first section*, based on the review of scientific sources, an analysis of the current state and trends in the development of the scientific and methodological apparatus is carried out, the use of which allows in practice to implement the mitigation of cognitive biases in neuro-educational environments, and contradictions are identified between the capabilities of existing neuro-computer technologies in the field of project activities and everyday use and the requirements for the accuracy of decision-making in modern conditions. The essence of cognitive biases, the state of study of the topic considered in the work are considered, the practical importance of the implementation of the information technology proposed in the work is outlined.

The accuracy indicators of the obtained results, which were used in previous studies in this area, are considered in detail and their possible and desired values are determined in accordance with modern requirements. An analysis of existing methods for studying cognitive biases and their relationship with decision-making from the point of view of cognitive activity in the “human-environment” system was conducted, and their advantages and disadvantages were identified, and on the basis of which the scientific task of the study was formulated. The section ends with conclusions that summarize the key aspects of implementing the mitigation of cognitive biases during decision-making by solving the scientific task set in the work.

*The second section* compares existing models for assessing the impact of mitigating cognitive biases for further use in the neuroeducational strategies proposed in the work. The main methods for studying the action of cognitive biases based on the use of neuro-computer interfaces, surveys, special experiments and the results obtained during testing in simulated and real conditions, identifying their advantages and disadvantages of use, are considered. The procedures for testing neuroliteracy and training neuroplasticity, maintaining attention, and controlling cognitive stress are considered. Improved models for tracking cognitive biases and assessing their impact on vulnerable indicators by using the results of extended subjective analysis or personalization of the training structure, which provides the opportunity to evaluate input influences and build more effective strategies for mitigating cognitive biases, are designed to simultaneously improve several cognitive indicators in complex training. Limitations for the implementation of the proposed models are identified.

*The third section* of the study is devoted to solving the outlined scientific and applied problem of reducing the probability of making erroneous decisions by using the proposed information technology for mitigating cognitive biases in the neuroeducational environment. In The section proposes a suitable decision support system in project activities based on a hybrid neuro-fuzzy network and a cognitive situation map for time series analysis. A comparative assessment of the effectiveness of the proposed and existing technologies for mitigating cognitive biases in the neuro-educational environment is presented. Possible scenarios with certain alternatives

when applying the information technology proposed in the work are considered. The scientific novelty of the results obtained during the performance of the dissertation work is as follows:

1. The existing methods for monitoring the cognitive component of the “brain-computer” or “human-environment” system have been further developed, the effects of cognitive biases on the accuracy of decision-making and ways of its assessment have been determined, limitations, requirements and modern possibilities have been outlined, in particular in the task of increasing the accuracy of decision-making in project activities.

2. Models for tracking cognitive biases and assessing their impact on vulnerable indicators have been improved by using the results of extended subjective analysis or personalization of the training structure, which makes it possible to assess input influences and build more effective strategies for mitigating cognitive biases, designed to simultaneously improve several cognitive indicators in complex training. Limitations for the implementation of the proposed models have been identified.

3. The method for comparing models for tracking cognitive biases has been improved by using the results of a comprehensive analysis of the objectivity of the information received, which allows assessing the predicted effectiveness of models on certain indicators, taking into account individual differences in cognitive indicators.

4. For the first time, an information technology for mitigating cognitive biases in a neuroeducational environment has been proposed, the use of which, unlike existing ones, allows the implementation of personalized training programs for mitigating cognitive biases and ensures the necessary efficiency of project activities by reducing the risks of making erroneous decisions.

The practical significance of the results obtained is that:

The practical use of the scientific results obtained in the dissertation provides an opportunity to implement neuroplasticity training with the resulting suppression of cognitive biases, which increases the accuracy of decision-making by 8%, the time of

maintaining attention by 12% and the productivity by 7% (reduction of action time and controllability of fatigue) during 6 months of classes according to the proposed neuroeducational strategy. The information technology proposed in the work can be used to reinforce mental health support and optimize professional activity, which makes it possible to strengthen attention control by 14%, concentration by 12% and suppress cognitive stress by 8%. At the same time, the consolidation of the achieved level of neuroliteracy is maintained for 3 months for elementary tasks and for 6 months for complex tasks. The practical implementation of the proposed information technology spreads neuro-computer literacy and develops emotional intelligence. Training participants using the information technology proposed in the work are guaranteed to receive 1 or 2 levels of neuroliteracy, increase the quality of the neurosignal (duration and quality of maintaining the state of mental effort, control of the "flow" and emotions) by 7% during 9 months of training.

The new theoretical and practical results obtained during the dissertation research were implemented in the research work "Information technologies for the analysis and prediction of processes invariant to the subject area".

Keywords: cognitive bias mitigation, non-invasive neuro-computer interface, information technology, mathematical modeling, expert evaluation, statistical hypothesis testing, correlation, information system, fuzzy logic, fuzzy system, decision making, neural networks, sampling rate, communication channel, analysis methods, Internet of Things, decision-making accuracy, multi-criteria evaluation, predictive models, artificial intelligence.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Михальчук В. Оцінювання об'єктивності зменшення впливу когнітивних упереджень у нейроосвітній стратегії із виділенням вразливих показників. (2025) Вісник Хмельницького національного університету (технічні науки). - С.52-58. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-81-7>
2. Михальчук В.В., Дружинін В.А. Пригнічення когнітивних упереджень під час ідентифікації особи та її наміру в нейро-комп'ютерних системах. Вісник Військового інституту Київського національного університету ім.Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2024. № 84. с. 91 – 105.С.91-105 <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2024/84-10>
3. Михальчук В., Дружинін В. Упередженість розуму в нейро-комп'ютерних дослідженнях (до проблеми розширення свідомості та формування досвіду). Перша всеукраїнська наукова конференція «Когнітивні дослідження: результати, виклики та перспективи». 24 травня 2024 р., Київ, Україна
4. Mykhalchuk V., Druzhynin V. Targeting the mind in challengeable conditions of biased nature of performance (preliminary results on individual experience) 1st ITS Conference. 2024
5. Tmienova N., Mykhalchuk V. Brain-Computer Interface as Tool of Cognitive Optimization (Case of Biases Reducing in Decision-Making and Control Improvement). IntSol-2023 CEUR Workshop Proceedings, vol. 3309, 2023, 1.
6. Mykhalchuk, V. Cognitive Design of Educational Brain-Computer Interfaces. ITAAP-2022 CEUR Workshop Proceedings, vol. 3309, 2022, 1.
7. Mykhalchuk, V. (2022). Brain-computer interfacing prospects in e-society. Management of Development of Complex Systems. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.50.39-43>
8. Михальчук В. Система когнітивної оптимізації розумного освітнього середовища із нейро-комп'ютерним модулем. Науковий марафон «Об'єднані наукою». КНУ ім. Т.Шевченка. Постерна доповідь. 2022 р.

9. Михальчук В. Огляд сучасних інструментів підвищення якості користувацьких нейро-комп'ютерних інтерфейсів. «Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень» (Київ) 17-18.11.2022
10. Mykhalchuk V. Evaluation of cognitive biases in brain-computer interfaces. IT&Is-2022.
11. Mykhalchuk V., Kychansky A. Brain-computer interfaces and education. IT&Is-2022.
12. Mykhalchuk, V. (2022). Prospects overview of hybrid brain-computer interface for increasing efficiency of research activity. First International Conference "Open Science and Innovation in Ukraine 2022". DOI: 10.35668/978-966-479-129-5-2-4

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ КОГНІТИВНИХ УПЕРЕДЖЕНЬ В НЕЙРООСВІТНИХ СЕРЕДОВИЩАХ.....	21
1.1. Когнітивні упередження. Основні поняття та визначення.....	21
1.2. Аналіз показників зменшення впливу когнітивних упереджень.....	27
1.3. Сучасні можливості та перспективи застосування нейро-комп'ютерного інтерфейсу для досліджень когнітивних упереджень.....	31
1.4. Постановка наукової задачі.....	44
Висновки до розділу 1.....	49
РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ ВІДСТЕЖЕННЯ КОГНІТИВНИХ УПЕРЕДЖЕНЬ.....	50
2.1. Ідентифікація когнітивного стану особи у нейроосвітніх середовищах.....	50
2.1.1. Особливості виявлення впливу когнітивних упереджень на процес прийняття рішення .....	51
2.1.2. Оцінка психометричних показників особи, що приймає рішення в проектній діяльності.....	59
2.2. Нейроосвітнє середовище і стратегія тренування нейропластичності.....	67
2.2.1. Алгоритм зменшення впливу когнітивних упереджень за ЕЕГ під час прийняття типових рішень у професійних умовах та навчанні.....	79
2.2.2. Вимоги до точності отриманих результатів.....	85
2.2.3. Оцінка отриманих практичних результатів.....	87
2.3. Метод виділення вразливого показника.....	93

2.4. Опис та порівняння запропонованих моделей.....	99
2.5. Оцінювання достовірності результатів.....	110
Висновки до розділу 2.....	120
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ В РОБОТІ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ КОГНІТИВНИХ УПЕРЕДЖЕНЬ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СППР З НЕЧІТКИМ ВИВЕДЕННЯМ.....	121
3.1. Гібридна система підтримки прийняття рішень.....	121
3.2. Інтегрована модель підтримки прийняття рішень.....	126
3.3. Гібридний підхід до прогнозування на основі НКК .....	131
3.4. Результати застосування вдосконаленого правила .....	137
Висновки до розділу 3.....	142
ВИСНОВКИ.....	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	146
ДОДАТКИ.....	155

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BCI – нейро-комп'ютерний інтерфейс<sup>1</sup>

ЕЕГ – електроенцефалограма

ERP – потенціал, пов'язаний з подією

ННМ – нейронечітка мережа

ГНМНЛ – гібридна нейромережа на нечіткій логіці

КК – когнітивна карта

GWT – Global Workplace Theory

КУ – когнітивні упередження

ОПР – особа, що приймає рішення

ICA – Independent Component Analysis

SVM – Support Vector Machines

GWT – Global Workplace Theory

RT – response time

Acc. - accuracy

H&B - (heuristics and biases task)

Stimulus, S – спонука

ЕКЗ - Елементарне когнітивне завдання

IDA – когнітивний агент

---

<sup>1</sup> Більшість методів даного дослідження орієнтовані на парадигму «мозоково-комп'ютерної взаємодії» (brain-computer interface). У вітчизняній термінології закріпилося визначення «нейро-комп'ютерний інтерфейс». Проте зважаючи на завдання та форми впровадження технології, слід мати на увазі взаємодію людини та середовища.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Когнітивні упередження є систематичними відхиленнями від раціонального мислення, що впливають на прийняття рішень та судження. Вони можуть призводити до помилкових висновків, неправильних рішень та негативних наслідків у різних сферах життя, включаючи фінанси, медицину, освіту та соціальні взаємодії. Дослідження зменшення впливу когнітивних упереджень є актуальним, оскільки вони сприяють підвищенню якості прийняття рішень, покращенню критичного мислення та зменшенню впливу маніпуляцій.

Нейро-комп'ютерний інтерфейс (НКІ) є технологією, що забезпечує прямий зв'язок між мозком людини та електронними пристроями. Сучасні НКІ використовуються для моніторингу та аналізу мозкової активності, що дозволяє виявляти та коригувати когнітивні упередження в реальному часі.

Сьогодні доступні користувацькі нейро-інтерфейси, які можуть бути використані для тренування пам'яті, моніторингу уваги та втоми. Наприклад, існують пристрої, що використовують електроенцефалографію (ЕЕГ) для вимірювання мозкової активності та надання зворотного зв'язку користувачам. Ці пристрої можуть допомогти користувачам покращити свою концентрацію, зменшити стрес та підвищити продуктивність.

НКІ можуть використовуватися для покращення пам'яті шляхом надання зворотного зв'язку про мозкову активність під час навчання. Це дозволяє користувачам краще розуміти, як їх мозок працює під час запам'ятовування інформації, та коригувати свої методи навчання для досягнення кращих результатів; для моніторингу рівня уваги та втоми користувачів. Це особливо корисно для професій, що вимагають високої концентрації, таких як пілоти, водії та оператори складних систем. Наприклад, пристрої, що використовують ЕЕГ, можуть виявляти ознаки втоми та попереджати користувачів про необхідність відпочинку.

**Наукова задача:** зменшення ймовірності прийняття помилкових рішень за рахунок використання вдосконалених моделей та методів у системі підтримки прийняття рішень в умовах дії когнітивних упереджень.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є мінімізація невірно прийнятих рішень особою, яка приймає рішення під впливом когнітивних упереджень, виявлених при аналізі електроенцефалографічних даних шляхом застосування запропонованих в роботі моделей та методів.

Для досягнення мети дослідження визначено наступні завдання:

- на основі методів вивчення когнітивних показників сформулювати задачу зменшення впливу когнітивних упереджень у прийнятті рішень відповідно до сучасних можливостей нейроосвітніх середовищ з врахуванням даних попередніх досліджень;
- порівняти моделі зменшення впливу когнітивних упереджень за результатами експериментальних досліджень у професійному середовищі в умовах проектної діяльності із врахуванням критично значущих чинників (індивідуальні різниці) та одночасного відстеження кількох показників;
- оцінити ефективність моделей за визначеними показниками за рахунок аналізу об'єктивності результатів отриманої інформації;
- вдосконалити систему підтримки прийняття рішень на основі аналізу енцефалографічних даних оцінки впливу когнітивних упереджень відповідно до нейроосвітньої стратегії.

**Об'єкт дослідження.** Процеси впливу когнітивних упереджень осіб, які функціонують в нейроосвітніх середовищах, на якість прийнятих ними рішень.

**Предмет:** моделі та методи реалізації систем підтримки прийняття рішень в нейроосвітніх середовищах.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Отримали подальший розвиток існуючі методи моніторингу когнітивної складової системи «мозок-комп'ютер» або «людина-середовище», визначені впливи когнітивних упереджень на точність прийняття рішень та шляхи її оцінювання, окреслено обмеження, вимоги та сучасні можливості, зокрема в задачі підвищення точності прийняття рішень в проектній діяльності.
2. Вдосконалено моделі відстеження когнітивних упереджень та оцінювання їх впливу за вразливими показниками за рахунок використання результатів розширеного суб'єктивного аналізу або персоналізації структури тренувань, що надає можливість оцінювати вхідні впливи та будувати більш ефективні стратегії зменшення впливу когнітивних упереджень, розраховані на покращення одночасно кількох когнітивних показників у комплексному тренуванні. Визначені обмеження для впровадження запропонованих моделей.
3. Вдосконалено метод порівняння відстеження впливу когнітивних упереджень за рахунок використання індивідуальної різниці когнітивних показників, що дозволяє оцінювати вплив когнітивних упереджень з вищою точністю.
4. Вперше запропоновано вирішуюче правило для системи підтримки рішень в нейроосвітньому середовищі за рахунок введення вирішуючого правила, що дозволяє на відміну від попередніх використання якої, на відміну від існуючих, дозволяє впроваджувати персоналізовані програми тренувань зменшення впливу когнітивних упереджень та забезпечує необхідну ефективність проектної діяльності за рахунок зниження ризиків прийняття помилкових рішень.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Практичне використання наукових результатів, отриманих в дисертації надає можливість реалізувати тренування нейропластичності із результуючим зниженням впливу когнітивних упереджень, що на 8% підвищує точність прийняття рішень, на 12% - час утримання уваги та на 7% - продуктивність

(скорочення часу дії та контрольованість виникнення втоми) протягом 6 місяців занять за запропонованою нейроосвітньою стратегією. Запропоновану в роботі інформаційну технологію можна використовувати для підкріплення засобів підтримки ментального здоров'я та оптимізації професійної діяльності, що надає можливість підсилення контролю уваги на 14%, зосередженості на 12% та зниження когнітивного стресу на 8%. При цьому, закріплення досягнутого рівня нейрограмотності зберігається протягом 3 місяців для елементарних завдань та на протязі 6 місяців для складних завдань. Практичне впровадження запропонованої інформаційної технології поширює нейро-комп'ютерну грамотність та розвиває емоційний інтелект. Учасники тренувань при використанні запропонованої в роботі інформаційної технології гарантовано отримують 1 або 2 рівень нейрограмотності, підвищують якість нейросигналу (тривалість і якість утримання стану ментального зусилля, контролю «поток» та емоцій) на 7% протягом 9 місяців тренувань.

Отримані в ході дисертаційних досліджень нові теоретичні та практичні результати були реалізовані у науково-дослідницькій роботі «Інформаційні технології аналізу та прогнозування процесів, інваріантних до предметної області».

#### **Особистий внесок здобувача.**

Результати теоретичних досліджень та експериментальних результатів отримані автором самостійно. В роботах опублікованих, у співавторстві, здобувач відіграв головну роль в постановці та вирішенні поставлених завдань, а також узагальненні отриманих результатів.

**Апробація результатів дисертації.** За результатами дисертації здобувачем опубліковано 5 статей та 11 тез доповідей у конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційне дослідження складається із вступу трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (102 джерела). Викладена на 169 сторінках машинописного тексту, містить 19 таблиць, 21 рисунок, 10 додатків.

## РОЗДІЛ 1

# АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ КОГНІТИВНИХ УПЕРЕДЖЕНЬ В НЕЙРООСВІТНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

### 1.1 Когнітивні упередження. Основні поняття та визначення

Когнітивні упередження - це систематичні відхилення в сприйнятті та обробці інформації, що виникають через обмеженість когнітивних можливостей. Вони призводять до прийняття рішень і формування суджень, які не завжди є раціональними або об'єктивними. Когнітивні упередження можуть бути результатом різних чинників, таких як емоції, минулий досвід, обмежена інформація або вплив соціального середовища [1].

Наприклад, одне з відомих когнітивних упереджень - це підтверджувальне упередження. Воно проявляється в тому, що люди схильні звертати увагу на інформацію, яка підтверджує їхні власні погляди, і ігнорувати або відкидати ту, яка суперечить їм. Інший приклад - ефект ореолу, коли загальне позитивне або негативне враження про людину впливає на сприйняття її окремих якостей або дій [2].

Когнітивні ефекти є важливою темою досліджень у психології, нейронауці та поведінковій економіці. Видатні дослідники, такі як Френсіс Бекон, Вільям Джеймс, Даніель Канеман, Амос Тверські, Річард Талер та Герберт Саймон, зробили значний внесок у розуміння цих упереджень та їх впливу на прийняття рішень. Їхні праці допомогли розкрити механізми, які лежать в основі когнітивних упереджень, та розробити стратегії для їх подолання.

Даніель Канеман і Амос Тверські є одними з найвідоміших дослідників когнітивних ефектів. Запропонована теорія перспектив пояснює прийняття рішень в умовах невизначеності. Їхні дослідження показали, що люди часто використовують евристики — ментальні скорочення, які можуть призводити до систематичних помилок [3,4] (Див.Табл. 1.1.).

Дослідження Річарда Талера присвячені розвитку поведінкової економіки. Його дослідження показали, як когнітивні упередження впливають на економічні рішення. Він також розробив концепцію «наджингу» — м'якого підштовхування людей до прийняття кращих рішень[5].

Герберт Саймон, лауреат Нобелівської премії з економіки, досліджував процес прийняття рішень і ввів поняття «обмеженої раціональності», згідно з якою прийняття рішень здійснюється як правило в певною мірою визначених інформаційних та часових умовах, що змушує використовувати евристики та зумовлює ефекти когнітивних упереджень [6].

Теорія перспектив є однією з найвпливовіших теорій у галузі поведінкової економіки та психології прийняття рішень. Вона пояснює, як люди приймають рішення в умовах невизначеності та ризику. Основні тези цієї теорії:

- 1) Відносність оцінки вигравів і втрат. Люди оцінюють виграти та втрати відносно певної точки відліку, а не в абсолютних величинах. Ця точка відліку може змінюватися залежно від контексту та обставин.
- 2) Асиметрія вигравів і втрат. Люди схильні більше боятися втрат, ніж радіти виграшам. Це явище називається «аверсія до втрат». Втрата певної суми грошей викликає більше негативних емоцій, ніж виграш такої ж суми позитивних.
- 3) Евристики та упередження. Люди часто використовують евристики - ментальні скорочення, які допомагають швидко приймати рішення, але можуть призводити до систематичних помилок. Наприклад, евристика доступності полягає в тому, що люди оцінюють ймовірність події на основі того, наскільки легко вони можуть пригадати подібні випадки.
- 4) Ефект впевненості. Люди схильні переоцінювати свої знання та здібності. Це може призводити до надмірної впевненості у своїх рішеннях і недооцінки ризиків.
- 5) Ефект фреймінгу. Рішення людей можуть змінюватися залежно від того, як подається інформація. Наприклад, люди можуть приймати різні рішення, якщо одна й та сама інформація подається як виграш або як уникнення втрати.

6) Принцип зменшення чутливості. Чутливість до змін у виграшах і втратах зменшується зі збільшенням абсолютної величини цих змін. Наприклад, різниця між виграшем у 100 і 200 доларів сприймається як значніша, ніж різниця між виграшем у 1100 і 1200 доларів.

7) Ігнорування ймовірностей. Люди часто ігнорують ймовірності подій або недооцінюють їх. Наприклад, вони можуть переоцінювати ймовірність рідкісних подій і недооцінювати ймовірність частих подій [3,4].

Таблиця 1.1. Найпопулярніші когнітивні упередження

Назва упередження	Короткий опис	Можливі приклади	Дослідники	Результати досліджень
Якорування	Тенденція занадто сильно покладатися на першу отриману інформацію при прийнятті рішень	Вказання обмеження на кількість товару в одні руки	Тверські та Канеман	Люди часто приймають рішення, базуючись на першій отриманій інформації
Евристика доступності	Тенденція оцінювати ймовірність подій на основі того, наскільки легко вони згадуються	Оцінка ризику авіакатастроф після новин про авіакатастрофу	Тверські та Канеман	Люди схильні переоцінювати ймовірність подій, які легко згадуються
Ефект зворотнього результату	Коли люди реагують на негативні свідчення посиленням своїх переконань	Ігнорування наукових доказів проти власних переконань	Лорд, Росс, Леппер	Люди схильні посилювати свої переконання при отриманні негативних свідчень
Ефект приєднання до більшості	Тенденція робити або вірити в те, що роблять або вірять інші	Мода, соціальні мережі	Аш	Люди схильні слідувати за більшістю, навіть якщо це суперечить їхнім переконанням
Омана базового відсотку	Тенденція ігнорувати загальновідому інформацію на користь специфічної	Ігнорування статистики при оцінці ризику	Тверські та Канеман	Люди часто ігнорують базову інформацію при прийнятті рішень

### **Приклад небажаного впливу когнітивних упереджень на життя людей.**

Бульбашка нерухомості початку 2000-х років була періодом швидкого зростання ринку житла Сполучених Штатів, який характеризувався значним зростанням цін на житло. Бульбашка була викликана сукупністю факторів, включаючи низькі відсоткові ставки, легкий доступ до кредиту та відсутність регулювання в іпотечній галузі. Оскільки ціни на житло продовжували зростати, багато людей брали кредити, щоб купити житло, яке вони не могли собі дозволити, а кредитори

почали пропонувати субстандартні іпотечні кредити позичальникам із поганою кредитною історією. Ці позики часто були іпотечними кредитами з регульованою процентною ставкою (ARM), які мали низькі початкові процентні ставки, які згодом значно зросли, що ускладнювало для позичальників здійснення щомісячних платежів. Коли в 2006 році ціни на житло почали падати, багато власників будинків виявили, що борг за іпотечними кредитами перевищує вартість будинків, і вони почали не виплачувати свої кредити. Це призвело до значного зниження вартості іпотечних цінних паперів (MBS), які були фінансовими інструментами, створеними шляхом об'єднання великої кількості іпотечних кредитів і їх продажу інвесторам. Зниження вартості MBS призвело до кризи ліквідності на фінансових ринках, оскільки багато банків та інших фінансових установ інвестували значні кошти в ці цінні папери. Криза зрештою призвела до краху кількох великих фінансових установ, у тому числі Lehman Brothers, і спровокувала світову рецесію.[7,8]

Бульбашку житла в США було описано в документальній книзі Майкла Льюїса «The Big Short: Inside the Doomsday Machine». У книзі розповідається про кількох ключових гравців, які передбачили крах ринку житла та зробили ставку проти бульбашки боргових зобов'язань із заставою (CDO), зрештою отримавши прибуток від фінансової кризи 2007-08 років. Книга також висвітлює ексцентричні натури людей, які роблять ставки проти ринку або іншим чином «йдуть проти зерна». Книга пробула 28 тижнів у списку бестселерів The New York Times і стала основою для однойменного фільму 2015 року.

Ключові гравці у «The Big Short» зробили ставку проти бульбашки боргових зобов'язань із заставою (CDO) і таким чином отримали прибуток від фінансової кризи 2007-08 років. Вони зробили це шляхом придбання кредитно-дефолтних свопів (CDS), які є страховими контрактами, які виплачують виплати, якщо позичальник не виплачує кредит. CDS дозволяли інвесторам робити ставки проти ринку житла, фактично не володіючи жодними з базових активів. Коли ринок житла обвалився, вартість CDS різко зросла, багато інвесторів несподівано втратили свої внески або навіть стали боржниками [3].

Житлова криза 2008 року була складною подією, яка включала багато факторів, зокрема економічні, політичні та соціальні. Однак деякі когнітивні упередження могли також зіграти свою роль. Надмірна самовпевненість могла змусити людей повірити, що вони можуть прогнозувати майбутні зміни цін на нерухомість точніше, коли ризик програшу був високим. Ілюзорна перевага могла змусити людей повірити, що вони менш імовірно не виплачуватимуть свої іпотечні кредити, ніж інші люди, навіть якщо вони мали подібні фінансові обставини. Упередження прив'язки могло змусити людей занадто покладатися на початкову оцінку вартості майна, яке вони купували чи продавали, навіть якщо ці оцінки були неточними або упередженими. Упередження підтвердження могло змусити людей ігнорувати або нехтувати доказами, які суперечили їхнім уявленням про ринок житла, наприклад, підвищення процентних ставок або зниження вартості житла. Упередження ретроспективи могло змусити людей повірити, що житлова криза була передбачуваною та її можна було запобігти, навіть якщо вони не мали доступу до всієї необхідної інформації на той час [9]. У таблиці 1.2 наведено порівняння впливу різних когнітивних упереджень на прийняття рішень у даній ситуації. (Див.Додаток А)

Таблиця 1.2. Аналіз втрат зумовлених когнітивними упередженнями

Когнітивне упередження	Кількість інвесторів під впливом (млн) <sup>2</sup>	Відсоток від загальної кількості інвесторів (%)	Середній обсяг втрат (млрд доларів США)	Середні втрати інвестора (тис.дол.)
Переконаність у власній правоті (1) <sup>3</sup>	0,374	25 <sup>4</sup>	28,05	75,8
Упередження підтвердження (2)	0,315	23	24,02	
Якорування (3)	0,173	17	12,65	
Упередж. втрат (4)	0,567	31	46,27	

<sup>2</sup> Наведено кількість інвесторів, які втратили вкладення, приймаючи рішення під впливом когнітивних упереджень.

<sup>3</sup> Під впливом даних упереджень рішення виглядали наступним чином: 1) інвестори переоцінювали свої знання та здібності, що призводило до надмірного ризику; 2) інвестори шукали інформацію, що підтверджувала їхні погляди, ігноруючи протилежні дані; 3) інвестори поклалися на початкову інформацію, що призводило до неправильних рішень; 4) інвестори тримали збиткові активи, сподіваючись на їхнє відновлення.

<sup>4</sup> Орієнтовний вплив когнітивного упередження за типом. Від усієї кількості інвесторів.

Комбінація кількох упереджень	0,014	5	1,86	
	<b>Всього 10</b>	<b>Приблизно 4,2<sup>5</sup></b>	<b>Всього 114,17</b>	

Загальні збитки ситуації визначаються як 1) збитки, спричинені когнітивними упередженнями  $L_b$ , та 2) інші збитки  $L_o$ :

$$L = L_b + L_o \quad (1.1)$$

Враховуючи зниження збитків, спричинених когнітивними упередженнями  $L'_b = L_b \times \left(1 - \frac{P}{100}\right)$  за умови впровадження технології та визначивши його міру  $R = \frac{L-L'}{L} \times 100$  у відсотках, загальні збитки із впровадженням технології можна представити як

$$L' = L'_b + L_o = L_b \times \left(1 - \frac{P}{100}\right) + L_o. \quad (1.2)$$

Розрахуємо орієнтовний відсоток запобігання втрат у даній ситуації. Введемо інформаційну технологію зменшення впливу когнітивних упереджень із відсотком ефективності 15% та доступністю для 30% інвесторів:

$$L_{saved} = L_{bias} \times R = 0,045 \times 114,2 = 5,14 \text{ млрд.дол.США}, \quad (1.3)$$

де  $R = 0.15 \times 0.3 = 0.045$  – коефіцієнт запобігання втрат.

Враховуючи середню ставку вкладу можна визначити орієнтовне уникнення втрат 68 тисячами інвесторів.

---

<sup>5</sup> Кількість інвесторів, які втратили вкладення, приймаючи рішення під впливом когнітивних упереджень.

## 1.2. Аналіз показників зменшення впливу когнітивних упереджень

Особливістю досліджень когнітивних упереджень є їхня направленість на вузький об'єкт у визначеному експерименті (Див. Табл. 1.3). Наприклад, обирається визначене число когнітивних упереджень у вузькому явищі (зв'язок швидкості рішень в умовах обмеженого часу в задачі формування купівельної поведінки та фреймінгу).

Таблиця 1.3. Найбільш впливові дослідження з оптимізації когнітивних показників та зменшення впливу когнітивних упереджень (вибір за рейтингом цитувань за ключовими словами)

Дослідж.	Мета дослідження	Методи ідентифікації упереджень	Методи пом'якшен. упереджень	Результати, точність	Висновки
Fasolo et al. (2024) [10]	Поліпшення організаційних рішень	Інтегративний огляд, експеримент. дослідження	Дебіасинг, архітектура вибору	Відсутність порівняльних досліджень, запропонов. нову структуру	Рекомендації для вибору підходів для поліпшення процесів прийняття рішень
Korteling et al. (2021) [11]	Збереження та передача ефектів зменшення впливу упереджень	Систематичний огляд літератури	Тренування за допомогою ігор та відео	Ігрові інтервенції ефективніші за відео, недостатньо доказів для реальних умов	Необхідність подальших досліджень для підтвердження ефективності в реальних умовах
Surles & Noteboom (2024) [12]	Класифікація когнітивних упереджень у системах машинного навчання	Систематичний огляд, використання великих мовних моделей	Алгоритмічні методи зменшення упереджень	Виявлено групи упереджень та методи їх зменшення	Використання великих мовних моделей для систематичних оглядів
Ceschi et al. (2019) [13]	Класифікація евристик та упереджень у прийнятті рішень	Використання батареї з 17 завдань Н&В, оцінка за допомогою дизайну within-subjects	Аналіз індивідуал. відмінностей у прийнятті рішень	Виявлено три виміри: прогалини в знаннях, оцінювальні упередження, якорування та коригування	Підтвердження існування стабільних індивідуальних відмінностей у раціональному мисленні

Zhang et al. (2025) [14]	Підвищення продуктивності інтерфейсу мозок-комп'ютер через когнітивне тренування	Експеримент. дослідження з використанням RSVP та EEG	Когнітивне тренування для покращення уваги	Значне покращення продуктивності інтерфейсу мозок-комп'ютер	Підтвердження ефективності когнітивного тренування для покращення продуктивності інтерфейсу мозок-комп'ютер
Safari et al. (2024) [15]	Класифікація ментального навантаження за допомогою зв'язності мозку та машинного навчання на даних EEG	Експеримент. дослідження з використанням RSVP та EEG	Використання зв'язності мозку та алгоритмів машинного навчання	Значне покращення точності класифікації ментального навантаження	Підтвердження ефективності підходу для класифікації ментального навантаження
Zito et al. (2021) [16]	Оцінка роботи за допомогою біоелектричних вимірювань: перспектива нейроменеджменту	Експериментальні дослідження з використанням SC та EEG	Вимірювання рівнів залученості та стресу під час співбесіди	Виявлено найбільш стресові та залучені фази співбесіди	Рекомендації для покращення процесу оцінки кандидатів
Badr et al. (2024) [17]	Оцінка ментального стресу за допомогою глибокого навчання на основі сигналів EEG	Огляд літератури з використанням CNN, LSTM та гібридних моделей	Використання різних представлень даних та архітектур моделей	Класифікацій на точність до 88% при використанні спектрал. та топографіч. Представл.	Рекомендації для покращення точності класифікації ментального стресу
Duan et al. (2021) [18]	Гендерні відмінності у прийнятті рішень щодо покупки транснаціональних брендів у змішаних та оригінальних культурних рекламах	Експериментальні дослідження з fNIRS	Використання різних культурних стратегій у рекламі	Жінки показали вищу частоту покупок при перегляді оригінальних культурних реклам, ніж змішаних культурних реклам	Рекомендації для покращення маркетингових стратегій для різних гендерних груп
Dimoka et al. (2010) [19]	Дослідження потенціалу когнітивної нейронауки для досліджень інформаційних систем	Огляд літератури з когнітивної нейронауки	Використання функціонал. Нейровізуал. для покращення теорій інформ. систем	Виявлено сім можливостей для досліджень інформ. систем	Використання когнітивної нейронауки для покращення теорій інформаційних систем

Когнітивні упередження можуть мати значний вплив на наше повсякденне життя, від прийняття особистих рішень до формування суспільної думки.

Розуміння та усвідомлення цих упереджень допомагає нам приймати більш об'єктивні та раціональні рішення, уникати помилок і покращувати взаємодію з іншими людьми. Проте багато когнітивних упереджень пов'язані з автоматичними когнітивними процесами. Тому ефективне зменшення впливу їхнього впливу може бути досягнуто виключно через тренування. Сюди належить розвиток аналітичних здібностей, пам'яті, уваги, емоційного інтелекту (контроль небажаних станів як надмірна впевненість), процесу прийняття рішень, планування режиму роботи та відновлення, пріоритезація інформація та завдань. Загалом, враховуючи нейропластичну природу здатності до виконання завдань та адекватної діяльності, такі тренування можна умовно звести до ефективного співвідношення певної напруги або зусиль та розслаблення або власне відновлення когнітивної системи, яка в даному випадку має у своїй основі людську складову і має як біологічний вияв (мозкова активність) так і загальну передумовленість (вплив запитів суспільства, норм, порядку, комунікації тощо). Таке співвідношення у фізичному прояві виглядає як певні зміни стану та процеси, а у психологічному плані йому цілком відповідає воління до певної цілі або контроль поточного завдання та розслаблення від потреби відновлення початкового стану спокою. Запам'ятовування слід розглядати окремо оскільки цей процес має свою особливу влаштованість, але при цьому сильно впливає на досліджувані процеси. Одним із викликів дослідження є орієнтування на конкретні варіації імпульсів (посилених сигналів) та миттєві затримки і тривалі періоди певного стану. Детальніше це досліджено в теорії суб'єктивної інформації або інсайту. [20] У таблиці 1.4 наведено часові та якісні показники вивчених різних стратегій оптимізації когнітивного контролю.

Таблиця 1.4. Кількісні та часові показники оптимізації когнітивних станів або зменшення впливу когнітивних упереджень

Дослідження	Метод	Ціль	Кількісні показники	Часові показники
Fasolo et al. (2024)	Дебіасинг та архітектура вибору	Поліпшення організаційних рішень	Зменшення когнітивних упереджень на 20%	6 місяців
Korteling et al. (2021)	Інтеграція AI та людського навчання	Збереження та передача ефектів зменшення впливу упереджень	Підвищення точності рішень на 15%	1 рік
Surles & Noteboom (2024)	Використання великих мовних моделей (LLM)	Класифікація когнітивних упереджень у системах машинного навчання	Зменшення упереджень на 25%	8 місяців
Ceschi et al. (2019)	Класифікація евристик та упереджень	Прийняття рішень	Підвищення точності рішень на 10%	6 місяців
Zhang et al. (2025)	Когнітивне тренування через інтерфейс мозок-комп'ютер	Підвищення продуктивності	Підвищення продуктивності на 30%	1 рік
Safari et al. (2024)	Зв'язність мозку та машинне навчання на даних ЕЕГ	Класифікація ментального навантаження	Точність класифікації 85%	9 місяців
Zito et al. (2021)	Біоелектричні вимірювання	Оцінка роботи	Підвищення точності оцінки на 20%	6 місяців
Badr et al. (2024)	Глибоке навчання на основі сигналів ЕЕГ	Оцінка ментального стресу	Точність оцінки 90%	1 рік
Dimoka et al. (2010)	Нейронаукові інструменти	Дослідження інформаційних систем	Підвищення точності рішень на 15%	1 рік

### **1.3. Сучасні можливості та перспективи застосування нейро-комп'ютерного інтерфейсу для досліджень когнітивних упереджень**

На сучасному етапі розвитку використання більшості нейро-комп'ютерних інтерфейсів (BCI) спрямоване на тренування навичок і розвиток когнітивних здібностей, а також збір даних користувачів для подолання нейро-комп'ютерної неграмотності та вдосконалення технологій. Також варто відзначити успішність впровадження BCI для відстеження самопочуття, моніторингу ментального стану, а також профілактики комплексу гіперактивності чи дефіциту уваги дітей. Інтерфейс «мозок-комп'ютер» також використовується для експериментів з навігації та освоєння простору, оцінки навантаження свідомості та нейроестетичних досліджень.

Найважливішим завданням, яке може вирішити освітнє середовище, підкріплене інтерфейсом мозок-комп'ютер, є розвиток і навчання навичок взаємодії людина-комп'ютер. Крім того, такі середовища можуть забезпечити платформи для вивчення необхідних і реалізованих здібностей працівників в умовах нових соціальних тенденцій, таких як нейроменеджмент. Центральним предметом цих досліджень є процес прийняття рішень, а одним із останніх популярних напрямків цього підходу є впровадження навичок та підвищення ефективності трудової діяльності шляхом саморозвитку та навчання.

Особливим виявом психічної діяльності людини є нейропластичність, яка дозволяє адаптуватися до змінних умов середовища діяльності, ефективно (з мінімально необхідними енергетичними і часовими витратами) виконувати завдання, підвищити власну активність у роботі та повсякденному житті шляхом підвищення контролю свідомості. Нейро-комп'ютерна грамотність стає перевагою для закріплення здібностей і розвитку поширення нейропластичності та її використання для підвищення ефективності власної діяльності, і одним із очевидних способів її реалізації є освітнє середовище, де учні можуть поєднувати навчання спеціальних і нових навичок.

Дослідження Ческі А. (2018) спрямоване на розробку анти-упередженого статистичного підходу як системи підтримки прийняття рішень для групового прийняття рішень (GDM) для виявлення та обробки упередженості. У документі припускається, що ці упередження відповідають моделі, що складається з трьох вимірів: прогалини у програмному забезпеченні, упередження оцінки (тобто позитивні ілюзії та негативний ефект), прив'язка та коригування. Вчені розробляють антиупереджений статистичний підхід, включаючи екстремальні, помірні та м'які версії, як систему підтримки прийняття рішень. Серед методів багатокomпонентний аналіз і незалежний компонентний аналіз використовуються для дослідження способів вирішення проблем учасниками з попередніми дослідженнями евристики та упереджень. Результати доводять, що пошуковий і підтверджуючий аналізи дали рішення, яке припускає, що ці зміщення відповідають описаній моделі [21].

Цей підхід і дані можна використовувати для подібних галузей дослідження та проектування досвіду, особливо в освітніх системах.

Взаємодія вільної волі та свідомості в процесі прийняття рішень є важливим питанням нейроменеджменту та когнітивної науки. Автори розглядають дедалі більший аргумент щодо несвідомого впливу на прийняття рішень, який інтуїтивно ставить під сумнів свободу волі.

Деякі дослідники (Мудрик Л. 2022) припускають, що несвідомий вплив на поведінку впливає на ступінь контролю (причини-реагування). Основні аргументи проголошують, що немає певних доказів існування свободи волі взагалі, а лише ступінь, до якого ми можемо бути вільними за конкретних обставин. Цей феномен пов'язаний також із складною проблемою свідомості, прояв якої можна знайти у елементарних тренувальних завданнях таких як тест Струпа і дії ефектів сприймання таких як парейдолія [22].

Впливи несвідомого стану та усвідомлення в процесі прийняття рішень досліджуються за допомогою зразків типових спонук на суб'єктів (працівників, студентів) протягом експериментальної сесії, розробленої з врахуванням особливостей умов типових робочих ситуацій (наприклад у проектній

діяльності). Підхід включає критичні перегляди точності результатів у невизначених умовах і зосереджується на нейронній активності, пов'язаній з прийняттям рішень, що передує вольовим діям як предмету дослідження [23].

Ці результати можуть бути використані розробниками для вдосконалення нових систем в ергономічному дизайні робочого простору, а також співробітниками для оптимізації процесу прийняття рішень і моніторингу самопочуття.

Аналіз, заснований на каскадних циклах повторюваних подій мозку, спричинених структурою людського пізнання, представлений у дослідженні Баарса та Франкліна (2015). Кожен когнітивний цикл відчуває поточну ситуацію, інтерпретує її щодо поточних цілей, а потім вибирає внутрішню чи зовнішню дію у відповідь. Хоча більшість аспектів когнітивного циклу є несвідомими, кожен цикл також дає миттєвий «спалах» свідомого мовлення. Стен Франклін і Бернارد Баарс використали модель когнітивного циклу LIDA, розроблену за часом (початкова фаза сприйняття (розпізнавання стимулу), 80–100 мс, свідомий епізод (трансляція) 200–280 мс і фазою вибору дії 60–110 мс). Ця модель тісно пов'язана з мозком, вказуючи на тета-гамма-хвилю, фіксовану як потік від сенсорної кори до ростральних кортикоталамічних областей. Ця хвиля може сприйматися як свідомо перцептивна подія, починаючи з 200–280 мс після стимулу. Для виділення дій у циклі пропонується використовувати лобову, смугасту та мозочкову області.

У результаті дослідження було визначено два програмні агенти на основі LIDA (на основі Reaction Time, який імітує продуктивність людини у простому завданні, та Allport для моделювання феноменальної одночасності протягом часових рамок, порівнянних з людьми). Дослідження можуть бути реалізовані в середовищах з когнітивною архітектурою та апробацією її дизайну [24].

Регресійний аналіз є одним із основних підходів для візуалізації даних у більшості досліджень. Вчені схильні представляти якийсь новий підхід до розуміння і використання коефіцієнта кореляції. Коефіцієнт кореляції є основним поняттям основних випадків для швидкого і точного використання в статистиці.

У цьому дослідженні запропоновано підхід аналізу даних у зв'язку з теорією глобального робочого простору. Стаття (Rodgers J.L. and Nicewander W.A. 1988) представляє 13 різних формул, кожна з яких наголошує на різних обчислювальних і концептуальних визначеннях коефіцієнта кореляції. Кожна формула пропонує інший спосіб мислення про цей індекс, починаючи з алгебраїчних, геометричних і тригонометричних установок. Формули представлені таким чином, щоб читачі могли побачити зв'язки між ними та зрозуміти основні поняття, які вони представляють. Результати можуть бути використані в аналізі даних, особливо в кореляційному аналізі та розвитку критичних навичок [25].

Основу нейроменеджменту можна знайти в «Нейроменеджмент і лідерство» (Venturella I. et al., 2018). У цій роботі описується ЕЕГ-аналіз розумової діяльності в дослідженні організації відповідно до новітніх тенденцій нейронаукового аналізу в когнітивних науках, як благополуччя та робочого навантаження через типову діяльність людини.

Останні досягнення нейроменеджменту вдосконалені BrainSigns і JLL. Перші компанії створили ідею робочого навантаження з ЕЕГ для технології розпізнавання стану.

Вчені розглядають розширення поточних додатків, дивлячись на різні типи багатокористувацьких ігор, включаючи багатокористувацькі онлайн-рольові ігри, розрізняючи активний і пасивний ВСІ на ВСІ з багатьма учасниками в неігрових контекстах. Дослідження зосереджено на спільних і змагальних іграх із кількома розумами. Важлива увага приділяється сучасній концепції технології ВСІ та психологічного групового аналізу [26].

Ці результати роботи можуть бути використані для досліджень і розробок взаємодії людини з машиною та ергономіки в різних системах.

Інтернет речей (IoT) та інтерфейс «мозок-комп'ютер» (BCI) — це сучасні нові технології. Останнім часом його поєднання більш популярно. Центральними проблемами такого рішення для середовища користувача та інтелектуальних систем є методи обробки сигналів та чутливість датчиків. Дослідники (Laport F.

at all, 2018) пропонують використовувати аналіз електроенцефалографії (ЕЕГ) як компонент комунікаційного інтерфейсу для впровадження ВСІ в системах IoT. Як модель трансляції сигналу використовується протокол Message Queue Telemetry Transport (MQTT). Запропонований метод випробували на спеціальному дослідженні з FP2-каналом протягом 3-денного сеансу активності користувачів і його результати, представлені у вигляді співвідношення  $\alpha/\beta$  руху очей. Подальший розвиток цих результатів може бути використаний для реального впровадження в розумні будинки та розробки прикладних методів проектування [27].

Сьогодні існує багато реальних реалізованих зразків інтерфейсу мозок-комп'ютер. Слід назвати декілька проектів: система для керування автомобілем та перегонів (Emotiv та SIMUSAFE), авіації (g.tec та BrainSigns), нейромаркетингу (Emotiv, BrainSigns, JLL), психічного здоров'я та догляду за собою (Emotiv, g .tec, BitBrain, NeuroSky, BrainSigns), реклама і творчість(Emotiv, NeuroSky, g.tec). Усі ці компанії мають великий досвід у наданні допоміжних технологій, саме вони заснували суспільство користувачів ВСІ.

Теорія глобального робочого простору (ТГРП, англ. Global workspace theory (GWT)) пояснює сутність пізнання як особливого робочого простору, що забезпечує його доступність і взаємодію між незалежними мозковими процесами (або когнітивними модулями). Перша теорія була запропонована когнітивістом Бернардом Баарсом в 1988 році і була розвинена нейробіологами Станіславом Деаном і Жан-П'єром Шанже в рамках нейробіологічного підходу. З моменту свого створення ТГРП є однією з найбільш популярних і багатообіцяючих теорій пояснення механізмів роботи пізнання, ця ідея застосовується у сфері штучного інтелекту (робототехніка, освоєння космосу, медичне моделювання, психологічні, економічні дослідження).

Центральне поняття глобального робочого простору було введено Баарсом на основі поняття когнітивної архітектури, запропоноване Алленом Ньюеллом і Гербертом А. Саймоном. Глобальний робочий простір — це особливий тип когнітивної архітектури, в якому обробляються повідомлення від конкуруючих

між собою когнітивних модулів, що спеціалізуються на аналізі та обробці сенсорної інформації певного типу. Доступ до пізнання отримує та інформація, яка домінує в глобальному робочому просторі на даний момент — саме вона формує даний зміст пізнання. Функцією пізнання, можна назвати те, що різні обчислювальні процеси обробки інформації можуть вирішувати завдання тільки при узгодженій взаємодії в робочому просторі, але нездатні зробити це окремо.

Ключовою ідеєю теорії глобального робочого простору Баарса є те, що пізнання є особистим мозковим процесом, який забезпечує взаємну доступність між незалежними в звичайному стані зонами мозку та створює шлях для їх узгодженої взаємодії (інтеграції). Інакше кажучи, за відсутності пізнання мозок не може працювати як єдине ціле.

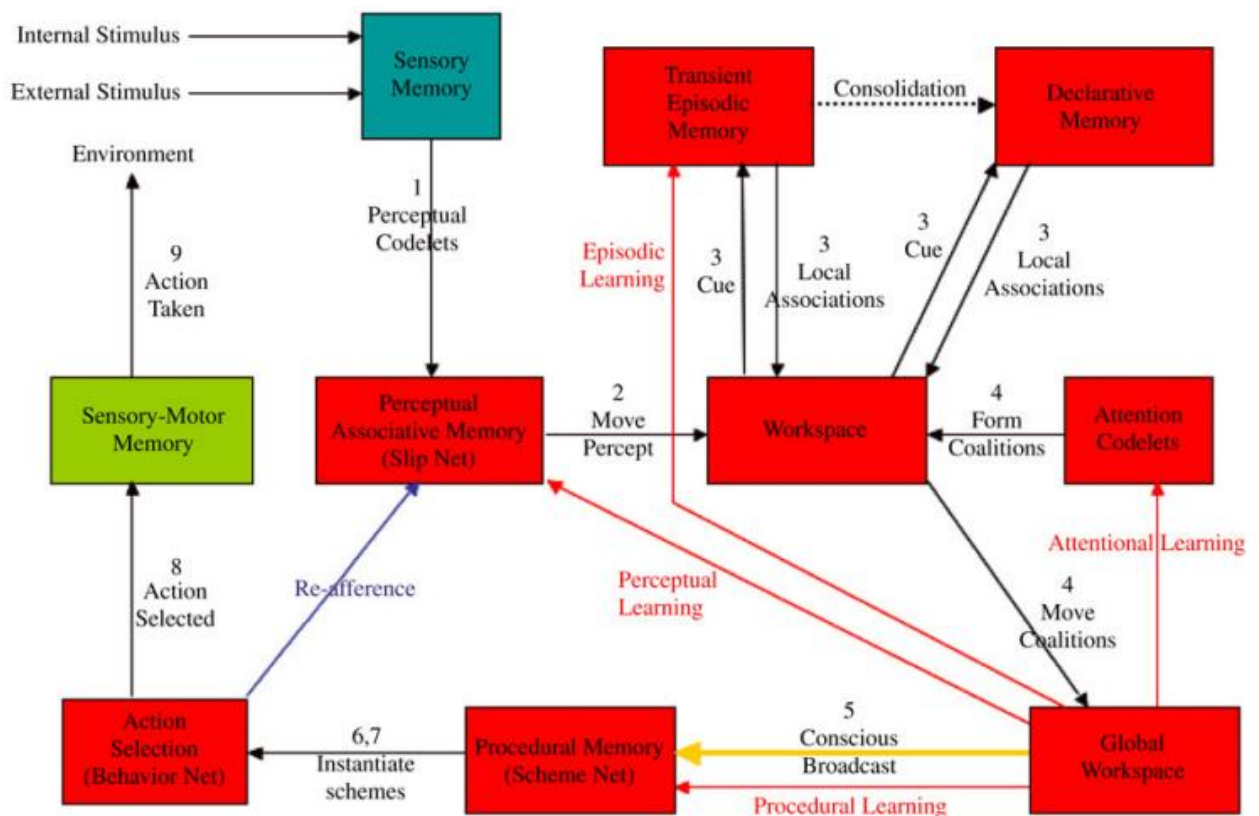


Рисунок 1.1. Когнітивний цикл IDA за Баарсом.

Умови існування пізнання — це формування робочого простору, яке являє собою психічну структуру, створювану когнітивними процесами для вирішення поточної задачі, наприклад, для формування емоцій або досягнення цілісності.

Доступ до робочого простору отримують різні осередки нейронів: там вони можуть взаємодіяти між собою і обмінюватися інформацією.

Поняття глобального робочого простору має багато спільного із загальною концепцією робочої пам'яті, що пов'язано з розумінням робочої пам'яті як основного робочого простору, в якому здійснюється пізнавальна когнітивна діяльність людини. У теорії передбачається, що змісти (контексти) пізнання конкурують для доступу в обмеженому робочому просторі і, таким чином, склад швидкоплинної пам'яті може включати в себе тільки один домінуючий процес.

Таблиця 1.5. Когнітивний цикл IDA за Баарсом за тривалістю процесів.

Фаза	Опис	Тривалість
<b>Сенсорне сприйняття</b>	Вхідні сенсорні стимули фільтруються через передсвідоме сприйняття, де додається значення і створюється перцепт.	80-100 мс
<b>Перцепт до робочої пам'яті</b>	Поточний перцепт переходить до передсвідомої робочої пам'яті, де він бере участь у структурному формуванні вищого рівня сприйняття.	80-100 мс
<b>Локальні асоціації</b>	Поточна структура з робочої пам'яті викликає транзиторну епізодичну пам'ять і декларативну пам'ять, створюючи локальні асоціації, які зберігаються в довготривалій робочій пам'яті.	80-100 мс
<b>Конкуренція за свідомість</b>	Коаліції вмісту довготривалої робочої пам'яті змагаються за свідомість, що дозволяє залучати ресурси для найбільш релевантних, термінових і важливих завдань.	100 мс
<b>Свідоме мовлення</b>	Виграшна коаліція вмісту займає глобальний робочий простір, що дозволяє різні форми навчання та залучення внутрішніх ресурсів.	200-280 мс

<b>Процедурна пам'ять</b>	Процедурна пам'ять реагує на вміст свідомого мовлення.	60-110 мс
<b>Інші реагуючі схеми</b>	Інші реагуючі (несвідомі) схеми створюють копії себе в механізмі вибору дій, зв'язують змінні та передають активацію.	60-110 мс
<b>Вибір дії</b>	Механізм вибору дій обирає дію для цього когнітивного циклу.	60-110 мс
<b>Дія</b>	ІДА діє на своє внутрішнє та/або зовнішнє середовище.	60-110 мс

Цей цикл повторюється з частотою приблизно 5-10 Гц, що робить його основною одиницею когніції.

На основі теорії Баарса французькі нейробіологи Станіслав Дане, Ліонель Наккаш і Жан-П'єр Шанже запропонували власну теорію нейронного глобального робочого простору (НГП) (англ. global neuronal workspace theory). Відповідно до теорії НГП, нейронний робочий простір складається з розподілених по корі аксонів-активаторів кортико-кортикальних нейронів, що утворюють взаємозв'язані шляхи. Такі нейрони здатні вибірково мобілізувати або гальмувати вкладення специфічних модулів обробки інформації. Свідомість в НГП розглядається як глобальна передача інформації в ядро головного мозку за допомогою особливої мережі нейронів робочого простору, метою якої є взаємообмін інформацією в мозку. У цій теорії вважається, що нейронні кореляції в певних частинах кори (пірамідальні нейрони 2 і 3 кіркові пласти головного мозку) і активність в цих шарах корелює зі знанням. Особливо багато таких нейронів робочого простору в префронтальному осередку, однак анатомічно нейронний робочий простір чітко не виокремлений, оскільки в різний час у робочий простір можуть входити різні комплекси нейронів. Зазвичай діють різні шляхи і осередки. Тому раціонально зводити обчислення до Бассівської теорії мозку, яка включає непередбачуваність активностей (елементарних подій) у системі (Див.далі). Для участі у формуванні змісту свідомості (контексту)

необхідна додаткова нейронна активність. Кожен модуль мозку повинен бути внутрішньо активним, він передає результати обробки (вихідні сигнали) до нейронного робочого простору, активуючи його нейрони, які потім відправляють назад сигнали, посилюючи активність повідомлень. Така двостороння активація створює сампідсилюваний, самопідтримуваний цикл активності, що постачає той чи інший зміст до простору пізнання [28].

Архітектура LIDA (Learning Intelligent Distribution Agent) використовує когнітивний цикл IDA (Intelligent Distribution Agent). Ця архітектура моделює широкий спектр когнітивних процесів, від низькорівневого сприйняття та дій до високорівневого мислення та прийняття рішень.

Таблиця 1.6. Ефективність методів підвищення точності за умови поєднання когнітивних архітектур та НКІ

<b>Метод</b>	<b>Когнітивна архітектура LIDA</b>	<b>Нейро-комп'ютерні інтерфейси (НКІ)</b>	<b>Орієнтовна ефективність та основні метрики</b>
<b>Адаптивне навчання</b>	Використовує когнітивні цикли для адаптації навчання до індивідуальних потреб учнів.	Використовує нейронні сигнали для адаптації навчання в реальному часі.	Орієнтовна ефективність 85%, метрики: об'єм пам'яті, зосередження, увага.
<b>Моделювання когнітивних процесів</b>	Моделює широкий спектр когнітивних процесів, включаючи увагу, пам'ять та прийняття рішень.	Моделює когнітивні процеси на основі нейронних сигналів та активності мозку.	Орієнтовна ефективність 80%, метрики: тест когнітивних здатностей, нейрокогнітивні показники.
<b>Інтерактивні навчальні середовища</b>	Забезпечує інтерактивні середовища через когнітивні агенти, які можуть взаємодіяти з учнями.	Використовує нейрокомп'ютерні інтерфейси для створення інтерактивних середовищ, що реагують на нейронні сигнали.	Орієнтовна ефективність 75%, метрики: стрес, увага, об'єм пам'яті.

Поєднання архітектури LIDA та нейро-комп'ютерного інтерфейсу (НКІ) може бути досить точним методом для реалізації зменшення впливу когнітивних упереджень у проектній діяльності. Застосовуючи нейроосвітні стратегії тренування нейропластичності, можна створити середовище, де когнітивні упередження значно знижуються або навіть усуваються. [29]

Перед початком проекту виконується аналіз когнітивних упереджень учасників проекту. LIDA може використовувати цей аналіз для моделювання та ідентифікації упереджень, таких як підтвердження власних переконань або ефект якоря. Нейро-комп'ютерний інтерфейс (НКІ) зчитує активність мозку та надає дані про когнітивні процеси. Використовуючи нейроосвітні стратегії тренування нейропластичності, проектна команда проходить адаптивне навчання. Це може включати вправи з нейрофідбеку, медитації, мозкових ігор та інших методик, спрямованих на зменшення когнітивних упереджень. Віртуальні реалістичні симуляції та сценарії проектної діяльності використовуються для тренування. LIDA і НКІ забезпечують зворотний зв'язок у режимі реального часу, допомагаючи учасникам усвідомлювати свої упередження і змінювати свою поведінку. Наприклад, команда працює над розробкою нового продукту. В процесі проектної діяльності спостерігається упередження до вже прийнятих рішень, коли учасники віддають перевагу власним ідеям і не враховують альтернативні варіанти. В ході виконання проекту учасникам надається нейро-комп'ютерний інтерфейс, який зчитує їхню мозкову активність під час обговорення рішень. LIDA аналізує дані НКІ та визначає моменти, коли учасники проявляють упередження, такі як підтвердження власних переконань. Учасники проходять тренінги з нейрофідбеку, спрямовані на зменшення упереджень. Наприклад, в процесі обговорення рішень система надає зворотний зв'язок про рівень когнітивного навантаження та емоційного стану учасників. Після тренінгу команда повертається до обговорення рішень, використовуючи дані зворотного зв'язку для більш об'єктивного і всебічного оцінювання альтернативних варіантів.

Протягом всього проекту НКІ та LIDA здійснюється моніторинг когнітивних процесів учасників та надається адаптивна підтримка для подальшого

зменшення когнітивних упереджень. Таким чином, застосування когнітивного циклу IDA, нейро-комп'ютерного інтерфейсу та нейроосвітньої стратегії тренування нейропластичності дозволяє покращити прийняття рішень у проектній діяльності та зменшити вплив когнітивних упереджень.

*Принцип вільної енергії* (Free Energy Principle) був розроблений Карлом Фрістоном, і він стверджує, що всі живі системи, включаючи мозок, прагнуть мінімізувати свою вільну енергію. Основні поняття включають вільну енергію, яка є мірою розбіжності між очікуваннями системи та фактичними сенсорними сприйняттями. Висока вільна енергія свідчить про несподівані сенсорні дані, що вказує на невідповідність між моделлю ситуації та реальністю. Марківське покриття допомагає розділити внутрішні стани системи, такі як нейронна активність, від зовнішніх станів, таких як сенсорні сприйняття та активні стани, дозволяючи системі взаємодіяти з середовищем через сенсорні та активні стани.

Живі системи, такі як мозок, прагнуть підтримувати стабільність та передбачуваність у своєму середовищі, постійно мінімізуючи розбіжності між очікуваннями та реальністю.

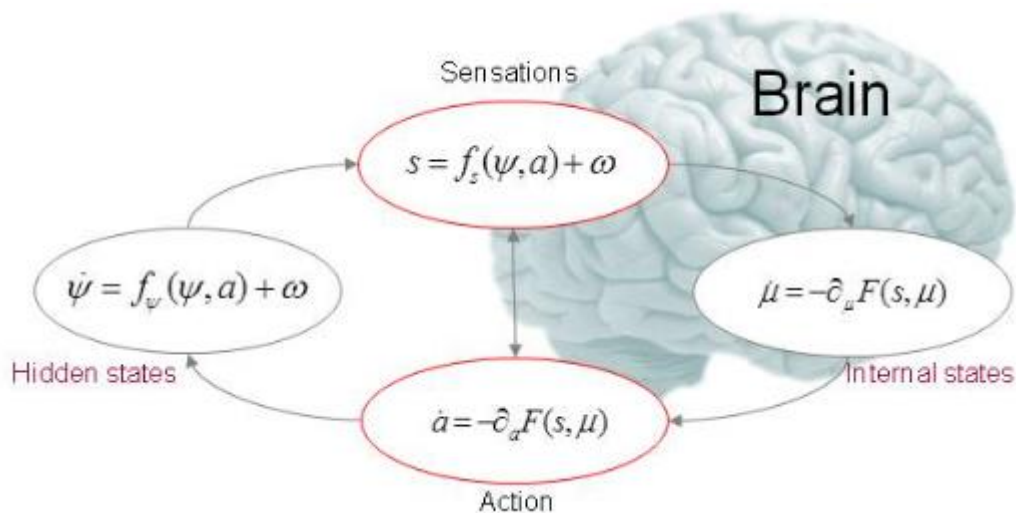


Рисунок 1.2. Поділ вільної енергії при розподілі дії та сприйняття в мозку: активні та внутрішні стани мінімізують функцію вільної енергії сенсорних станів. Подальша самоорганізація внутрішніх станів потім відповідає сприйняттю, тоді як дія мозкових станів повертається до зовнішніх станів.

Мозок прагне мінімізувати вільну енергію за допомогою двох основних механізмів: перцепції та дії. Перцепція включає оновлення внутрішніх моделей на основі нових сенсорних даних, тоді як дія спрямована на зміну зовнішніх умов для відповідності внутрішнім моделям. Для мінімізації вільної енергії мозок створює прогнози про майбутні сенсорні сприйняття на основі попереднього досвіду та знань. Коли нові сенсорні дані порівнюються з прогнозами, відповідність даних призводить до низької вільної енергії, а невідповідність підвищує її рівень. Щоб мінімізувати вільну енергію, мозок може оновити свої внутрішні моделі (перцепція) або змінити середовище таким чином, щоб прогнози відповідали реальності (дія). Наприклад, команда працює над проектом і має прийняти рішення щодо вибору технології або розподілу інвестицій. Внутрішня модель команди передбачає, що певна технологія є найкращим вибором для проекту. Однак, під час досліджень виявляється, що інша технологія має кращі перспективи (сенсорне сприйняття). Це створює розбіжність між очікуванням команди та реальністю, що збільшує вільну енергію. Розум (мозок<sup>6</sup>) команди може реагувати двома способами: 1 - змінюється внутрішнє очікування команди, і приймається той факт, що інша технологія є кращою, команда оновлює свої внутрішні моделі та адаптує план дій відповідно до нових даних (перцепція) або 2 - команда може вирішити дотримуватись початкового плану, але впроваджує додаткові заходи для досягнення очікуваних результатів такі як додаткові інвестиції або забезпечення додаткової підтримки для обраної технології, щоб вона відповідала очікуванням (дія). Однак на цей процес прийняття рішень можуть впливати когнітивні упередження. Учасники проекту можуть виявляти підтвердження власних переконань (коли надають перевагу вже прийнятим рішенням і не враховують нову інформацію) або ефект якоря (коли перша отримана інформація значно впливає на прийняття подальших рішень). Такі упередження можуть призводити до неправильної оцінки ситуації та знижувати ефективність прийнятих рішень. Використання нейро-комп'ютерних

---

<sup>6</sup> Тут і далі. У класичному формулюванні використовується мозок. Враховуючи подальший розвиток моделей та направленість на цільовий розум, використовується оцінювання прояву розуму через активність мозку.

інтерфейсів (НКІ) і машинного навчання може допомогти виявляти та мінімізувати вплив таких упереджень, забезпечуючи об'єктивність та точність у процесі прийняття рішень. [30]

За допомогою НКІ та LIDA можна моделювати очікування учасників проекту. Принцип вільної енергії допомагає виявляти моменти, коли реальні сенсорні дані не співпадають з очікуваннями, що може бути показником когнітивних упереджень. Принцип вільної енергії передбачає, що моделі ситуації оновлюються на основі нових даних з певним. У проектній діяльності це може бути реалізовано через постійний ітеративний аналіз нових даних та зворотний зв'язок від команди за допомогою спеціальної інформаційної технології. Виявивши розбіжності між очікуваннями та реальними даними, учасники можуть адаптувати свої моделі ситуації, зменшуючи когнітивні упередження. Наприклад, якщо виявлено, що учасники переоцінюють власні ідеї, вони можуть отримувати зворотний зв'язок для коригування своїх очікувань. Наприклад, команда працює над розробкою програмного забезпечення, і у них є упередження щодо певної технології, вважаючи її найкращою без об'єктивної оцінки альтернатив. Учасники використовують НКІ для спостереження за їхньою мозковою активністю під час обговорення технологічних рішень, LIDA аналізує розбіжності між очікуваннями учасників щодо технології та реальними даними, які вони отримують, а модель принципу вільної енергії використовується для надання зворотного зв'язку учасникам, допомагаючи їм зрозуміти, де вони могли бути упередженими. Тренінги з нейрофідбеку сприяють коригуванню очікувань та зменшенню упереджень. Після тренувань команда переглядає свої рішення, враховуючи нові дані та зворотний зв'язок, що дозволяє їм більш об'єктивно оцінити альтернативні технології.

Таким чином, принцип вільної енергії також може бути використаний для зменшення когнітивних упереджень у проектній діяльності, що покращує процес прийняття рішень та підвищує ефективність роботи команди.

#### 1.4. Постановка наукового завдання.

Визначимо модель прийняття рішення (формування судження) наступним чином. Для проектної діяльності (виконання певного етапу або завдання) є визначений набір можливих рішень  $D$ , які можуть бути прийняті. Кожне рішення  $d \in D$  має певну ймовірність успіху  $P(S | d)$  та ймовірність помилки  $P(E | d)$ . При цьому існує множина когнітивних упереджень  $C$ , що впливають на прийняття рішень;  $f(C)$  - функція, що визначає вплив когнітивного упередження  $c \in C$  на ймовірність прийняття рішення.

Введемо вирішуюче правило, яке знижує вплив когнітивних упереджень на прийняття рішення та описане функцією  $T$ .

Задача пом'якшення когнітивних упереджень передбачає віднайдення такого рішення  $d \in D$ , яке мінімізує ймовірність прийняття помилкового рішення, враховуючи вплив когнітивних упереджень та вирішуюче правило, що забезпечує підвищення точності:

$$d^* = \arg \min_{d \in D} P(E|d, f(C), T) \quad (1.4)$$

де  $P(E|d, f(C), T)$  - ймовірність прийняття помилкового рішення, враховуючи когнітивні упередження та використання вдосконалень.

Розв'язання цієї задачі вимагає застосування методів оптимізації. Один із методів, які можна використати, це градієнтний спуск.

Кроки для розв'язання задачі:

1. Визначимо функцію втрат. Задачу мінімізації ймовірності прийняття помилкового рішення можна виразити через функцію втрат  $L(d)$ , яка залежить від прийнятого рішення  $d$ , когнітивних упереджень  $f(C)$  та вдосконалених моделей і методів  $T$ .

$$L(d) = P(E | d, f(C), T) \quad (1.5)$$

2. Необхідно обчислити градієнт функції втрат  $\nabla L(d)$ , який покаже напрямок, у якому зменшення функції втрат буде найбільшим.

3. Градієнтний спуск. Оновлюємо рішення  $d$  у напрямку зменшення функції втрат. Це робиться за допомогою наступного рівняння:

$$d_{k+1} = d_k - \eta \nabla L(d_k) \quad (1.6)$$

де  $d_k$  - поточне рішення,  $\eta$  - швидкість навчання (коефіцієнт), що визначає величину кроку,  $\nabla L(d_k)$  - градієнт функції втрат в точці  $d_k$ .

4. Ітерації до збіжності. Повторюємо крок 3, поки зміна функції втрат не стане дуже малою або кількість ітерацій не досягне максимального значення.

5. Перевірка результату. Після досягнення збіжності, перевіряємо отримане рішення  $d^*$ , щоб переконатися, що ймовірність прийняття помилкового рішення мінімізована.

Для попереднього калібрування системи використовуємо наступний набір даних:

- 1) Кількість рішень:  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ , де  $n=4^7$ .
- 2) Кількість когнітивних упереджень:  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ ,  $m=8^8$ .
- 3) Функція впливу упереджень:  $f(C)$ .
- 4) Інформаційна технологія:  $T$ .

Визначимо функції наступним чином:

- 1) Функція впливу упереджень  $f(C) = w_1 c_1 + w_2 c_2 \dots w_m c_m$ , де  $w_m$  - ваги упереджень
- 2) Інформаційна технологія  $T$  зменшує вплив упереджень на 10%.

<sup>7</sup> Розглядається виділення чотирьох типів відповіді: істинно позитивні, хибно позитивні, істинно негативні, хибно негативні.

<sup>8</sup> Вводиться обмеження кількості когнітивних упереджень впливу (Див.Додаток Б)

## Лістинг 1.1. Псевдокод виконання задачі

```
python
import numpy as np

# Вхідні дані
n_decisions = 3
cognitive_biases = np.array([0.4, 0.6]) # Вплив когнітивних упереджень
weights = np.array([0.7, 0.3])      # Ваги упереджень
initial_decision = np.array([0.5, 0.5, 0.5]) # Початкове рішення
learning_rate = 0.01
max_iterations = 1000
tolerance = 1e-6

# Функція впливу упереджень
def f_C(cognitive_biases, weights):
    return np.dot(cognitive_biases, weights)

# Функція втрат (ймовірність помилкового рішення)
def P_E(d, f_C, T):
    return np.sum(d * f_C) / (1 + T)

# Обчислення градієнта
def compute_gradient(d, f_C, T):
    return f_C / (1 + T)

# Градієнтний спуск
d = initial_decision
for i in range(max_iterations):
    f_c_value = f_C(cognitive_biases, weights)
    gradient = compute_gradient(d, f_c_value, 0.5)
    new_d = d - learning_rate * gradient

# Перевірка збіжності
```

```
if np.linalg.norm(new_d - d) < tolerance:  
    break  
  
d = new_d  
  
optimal_decision = d  
print("Оптимальне рішення:", optimal_decision)
```

### **Прогнозування підвищення точності прийняття рішень з врахуванням вдосконалення технології зменшення впливу когнітивних упереджень**

Чинниками точності моніторингу когнітивного стану/зменшення впливу когнітивних упереджень можуть бути:

- 1) Одночасне дослідження кількох показників;
- 2) Точність оцінки інтенсивності когнітивних упереджень;
- 3) Врахування індивідуальної різниці;
- 4) Узгодженість;
- 5) Використання суб'єктивних анкет;
- 6) Згорткові нейронні мережі;
- 7) Нечіткі нейронні-мережі;
- 8) Подвійна сліпа перевірка;
- 9) Аналіз частотних компонентів;
- 10) Аналіз амплітудних змін;
- 11) Спектральний аналіз.

Визначимо критично значущі чинники методом Парето, оцінивши вагу кожного чинника за результатами експертного оцінювання. (Див. Рис.1.3)

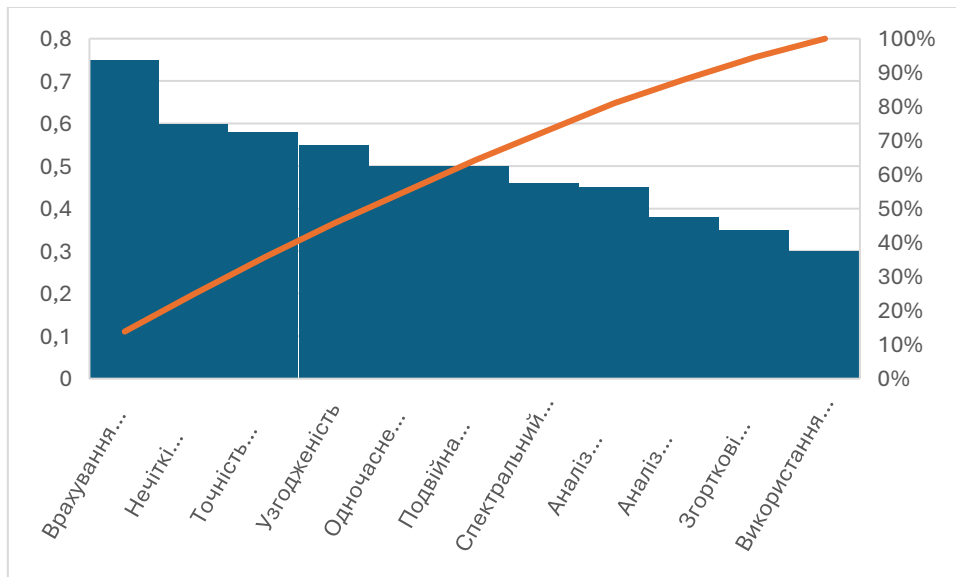


Рисунок 1.3. Критично значущі чинники підвищення точності.

Рівень точності за виділеними критичними чинниками у наявних стратегіях та оцінка можливе впровадження у нових наведена у Табл.1.5.<sup>9</sup>

Таблиця 1.7. Вплив критичних чинників точності

Чинник	Наявні методи	Можливості
Одночасне дослідження кількох показників	50%	80%
Точність оцінки інтенсивності когнітивних упереджень	85%	89%
Врахування індивідуальної різниці	65%	65%
Узгодженість	75%	85%
Нечіткі нейронні-мережі	70%	95%
Подвійна сліпа перевірка	60%	75%
Загальний результат із врахуванням ваги чинника	65%	78%

За таблицею 1.7 визначаємо орієнтовне підвищення точності в межах 13%.

<sup>9</sup> Порівняння здійснено на основі оцінювання стандартної р-величини методів або показників.

## Висновки до 1 розділу

Завдання зменшення впливу когнітивних упереджень є важливим запитом сучасного суспільства. Його розв'язання зменшить небажаний вплив на прийняття рішень та забезпечить уникнення неприйнятних ризиків.

За результатами досліджень когнітивні упередження широко проявляються у нейромаркетингу (без врахування неприйнятних ризиків і загроз), медіа, міжособистісному спілкуванні та професійній взаємодії.

Існує тенденція до розвитку стійкості до дії когнітивних упереджень (дослідження, поширення методик в науково-популярній формі тощо).

Недоліками попередніх досліджень з зменшення впливу когнітивних упереджень були:

- 1) висока ймовірність помилки експериментальних досліджень ( $p$ -величина 0,05-0,15);
- 2) обмеженість досліджуваних предметів (як правило розглядається кілька видів когнітивних упереджень);
- 3) недостатня вираженість суб'єктивного чинника і свідомості суб'єкта.

Сучасні можливості технологій, програмного забезпечення та обладнання (зокрема нейро-комп'ютерний інтерфейс), методологічний апарат дозволяють створити надійну технологію із вищим показником точності (орієнтовно 13%), яка може бути впроваджена в сучасних розумних середовищах та проектній діяльності, а також на користувачькому рівні для індивідуального розвитку пам'яті, емоційного інтелекту тощо.

## РОЗДІЛ 2

### ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ ВІДСТЕЖЕННЯ КОГНІТИВНИХ УПЕРЕДЖЕНЬ

#### **2.1. Ідентифікація когнітивного стану особи у нейроосвітніх середовищах.**

Задача ідентифікації когнітивного стану особи стала типовою для систем із нейро-комп'ютерним інтерфейсом. Сучасні можливості технологій дозволяють вивчати надзвичайно тонкі поняття і явища та впроваджувати з високою точністю для різних завдань. Зокрема виділяють поняття «образ мозку» (типовий ЕЕГ образ особи на основі середніх показників пластичності таких як вольтажі обраних ділянок та інтенсивність утримання цих значень протягом певного часу) та «образ розуму» (своєрідний стиль поведінки під час діяльності, визначається за співвідношенням часу реакції та точності відповідей із показниками когнітивних метрик таких як зосередженість, заангажованість, стрес тощо). Залежно від типу пропонується структурний або функціональний підхід до проектування тестів, а також відповідні алгоритми збирання та обробки даних [31].

Із поширенням пристроїв із неінвазивним нейро-комп'ютерним інтерфейсом, особливо користувацького рівня, впровадженням моніторингу самопочуття та оптимізації прийняття рішень у бізнесі (США) і дослідження освітніх процесів (Китай), легітимізацією таких технологій для слідчої експертизи у досудовій практиці (Франція) стає помітним багатогалузевий вплив нейро-комп'ютерних інтерфейсів та постає логічне запитання про можливі подальші напрямки їхнього розвитку, методи використання і сфери впровадження.

### **2.1.1. Особливості виявлення впливу когнітивних упереджень на процес прийняття рішень**

Когнітивні упередження можуть значно погіршити результати розпізнавання намірів та дій особи. Тому зменшення впливу когнітивних упереджень (mitigation of cognitive biases) є актуальною задачею в розробці протоколів ергономіки інформаційних систем, їх надійності, а системи оснащені нейро-комп'ютерним модулем мають помітну перевагу у вирішенні цієї проблеми та застосування нової технології. Нейро-комп'ютерний інтерфейс, оснащений модулем виявлення небажаних когнітивних шумів, а далі - зниження когнітивних упереджень (така технологія може бути реалізована у моделі фільтра енцефалограми), дозволить оптимізувати процес ідентифікації, мінімізувавши небажані втрати часу та кількість помилок [32, 33, 34]. Вплив когнітивних упереджень також може погіршити адекватність результатів, робочого порядку і добробуту, самопочуття працівників. З метою запобігання таким впливам використовується модуль виявлення ризиків когнітивної упередженості та застосовуються методи їх зменшення впливу у системах з жорсткою умовою виконання завдання (обмежена кількість спроб і час для відповіді). Для цієї задачі можна виділити три рівні нейрограмотності: початковий рівень – відсутність досвіду, нетренованість стану контролю, рівень навчання – успішне оволодіння навичкою контролю зосередженості, придатність до використання ментальних команд, та рівень впевненої нейрограмотної особи, що визначається володінням базовим набором ментальних команд і добре розвиненим контролем власного ментального стану. В ході типового тестування оцінюється рівень та підвищується в ході навчання і тренувань [35, 36, 37].

Для оцінки ментального стану використовуються типові показники такі як смуги частот, фронтальна асиметрія, відношення потужності різних смуг та потенціал, пов'язаний із подією (event-related potential, ERP) [32, 36, 38].

Перспективним напрямом розвитку технології є метод врахування когнітивних упереджень, за яким оцінені ризики або реальні прояви когнітивних упереджень фільтруються як небажаний артефакт при прийнятті рішень (Модель 1).

На Рисунку 2.1 контрольні екрани дослідження когнітивних упереджень під час виконання тесту Струпа. Вгорі: нормальна продуктивність. 20-а секунда сесії. Стан: бадьорість, рух, хороша увага, нормальна залученість. Середній час реакції 623 мс. Потужність діапазону для датчика T8: Тета – 5%, Бета – 4%, Гамма – 2%. Різниця між силами частот 0,5-1% (спокійний розум, стан потоку). Нижче: упереджене виконання з помилкою. 60та секунда діяльності. Когнітивне упередження: мотиваційне. Збільшення потужності діапазону Theta (5%) на обох точках Pz і T8 показує стан спокою.

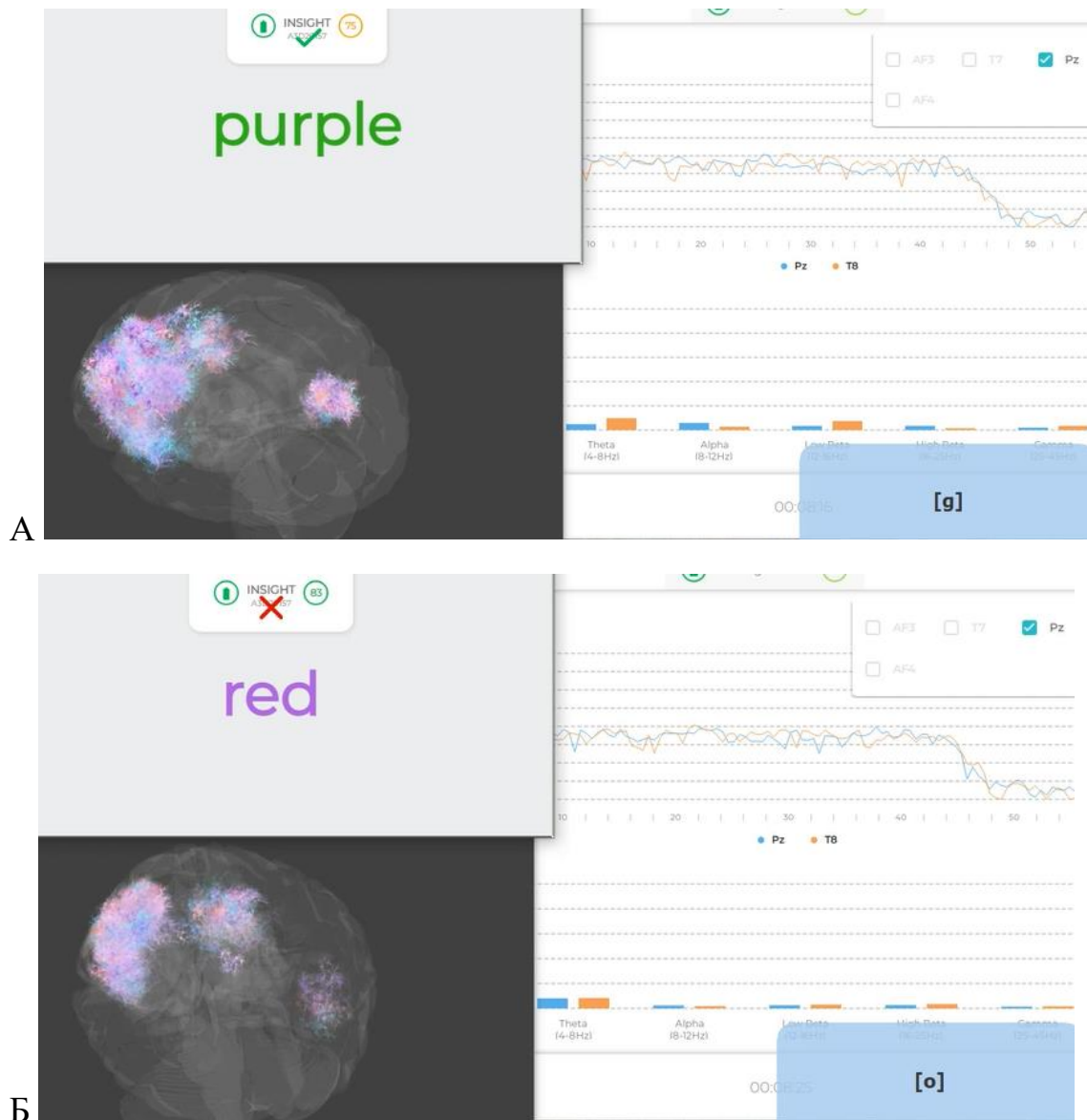


Рисунок 2.1. Контрольні екрани тесту Струпа (дія когнітивних упереджень)

Проблема ідентифікації когнітивного стану особи за поточними показниками нервової активності зводиться до визначення одного з двох важливих дієвих станів: контроль чи упередження. Дану задачу можна сформулювати так: «Чи відповідає ЕЕГ метрика особи що здійснює дії нормальним зразкам?»

З цією метою протягом робочого часу збираються зразки із попередньо заданим вибором та інтервалами. Достатньо чотирьох-п'яти контрольних тестів протягом нормального робочого часу (4-8 годин). Можливі комбінації таких показників як зосередженість, когнітивний стрес, частота кліпання очима, середній час реакції та точність відповідей (причому для подальшого порівняння амплітуд враховуються інтенсивності активації нейронних осередків правої та лівої півкулі мозку) [34, 39, 40].

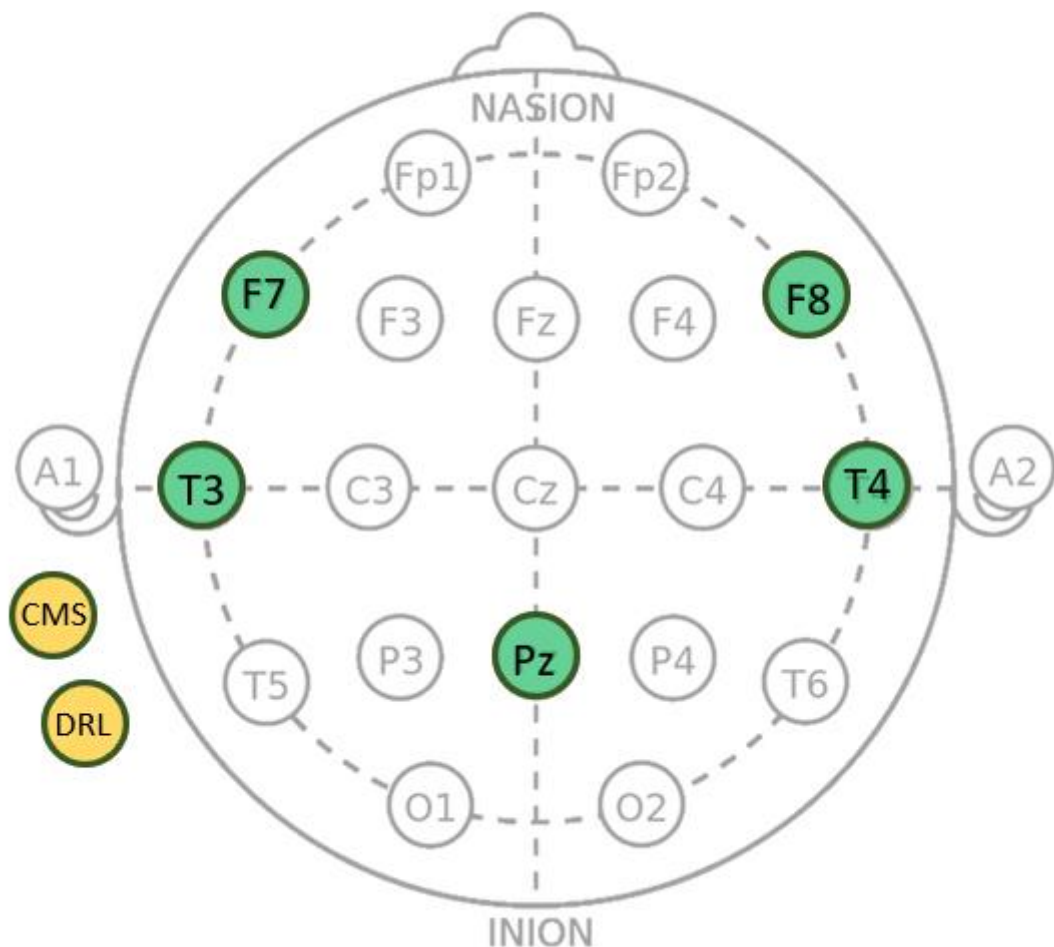


Рисунок 2.2 – Схема розташування електродів.

Для оцінки когнітивних упереджень за допомогою ЕЕГ аналізують потужності різних частотних смуг у різних позиціях електродів. Це дозволяє отримати показники для оцінки уваги, пам'яті, мотивації та сприйняття.

Таблиця 2.1. Позиції електродів, смуги частот для цільових показників

Частотна смуга, Гц	Позиції електродів	Увага	Пам'ять	Мотивація	Сприйняття
<b>Альфа (8-12)</b>	Окципітальні, парієтальні (Pz, O1, O2)	Підвищена потужність свідчить про розслаблення та зниження уваги	Вказує на процеси обробки та збереження інформації	Зниження потужності вказує на підвищену мотивацію та активність	Зміни в альфа-ритмі вказують на сенсорну обробку інформації
<b>Бета (13-30)</b>	Фронтальні (F3, F4, Fz)	Підвищена активність свідчить про активну увагу	Беруть участь у процесах запам'ятовування і виклику інформації	Висока потужність свідчить про стан настороженості та мотивації	Пов'язані з обробкою сенсорної інформації
<b>Тета (4-7)</b>	Фронтальні, тім'яні (F3, F4, Cz)	Зниження активності вказує на покращення фокусу та уваги	Асоціюються з процесами кодування та консолідації пам'яті	Низька активність свідчить про мотивацію та активну обробку інформації	Пов'язані з сенсорною обробкою та інтеграцією інформації
<b>Гамма (30-100)</b>	Темпоральні, окципітальні (T5, T6, O1, O2)	Асоціюється з високим рівнем уваги та обробкою складної інформації	Вказує на інтенсивне використання пам'яті та когнітивних процесів	Свідчить про підвищену мотивацію та когнітивну активність	Пов'язані з сенсорною інтеграцією та обробкою складної інформації
<b>Дельта (0.5-4)</b>	Центральні (Cz, Pz)	Асоціюються зі станом глибокого сну і менш активною увагою	Свідчить про процеси відновлення пам'яті під час сну	Підвищена активність свідчить про загальне зниження активності та мотивації	Зміни дельта-ритмів. Глибока обробка та інтеграція сенсорних даних

Не менш важливою є оцінка ментального стану, яка досліджується в контексті розпізнавання емоцій. Тут суттєвим є врахування темпераменту, який може певною мірою передати індивідуальність користувача та відповідні відображення впливу індивідуальних різниць у активності розуму.

Ця задача може бути сформульована у такому вигляді: «Чи зберігає особа, яка здійснює дію контроль?» або «Чи переважає у даний час вплив когнітивних упереджень?». Останнє формулювання особливо корисне для розвитку ретроспективного аналізу ЕЕГ для виявлення часу та інтенсивності дії когнітивних упереджень.

Задача може бути вирішена в межах перегляду емоційного стану особи в часовому околі виконання завдання або у момент здійснення дій.

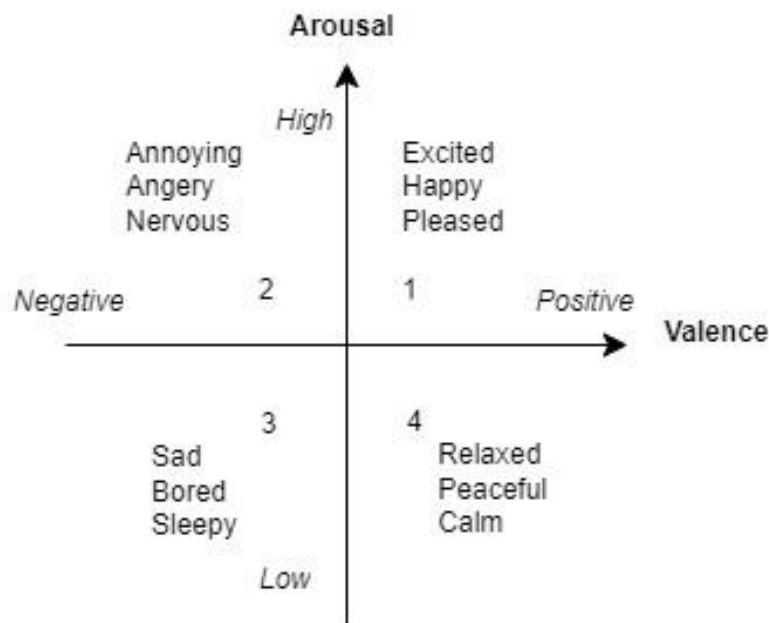


Рисунок 2.3 Схема визначення стану потоку (Див.далі).

Можливою формою зниження впливу когнітивних упереджень є застосування спеціальних контрольних стимулів (наприклад звукового сигналу або підсвічування екрану, що викликає певний стан готовності/бадьорості) або актуальна редакція сесії із введенням елементарних завдань чи виведення

сторонньої інформації типу нейтральних новин про хобі (у випадку вищої втоми це дозволяє покращити увагу паралельно з розслабленням).

З метою підвищення якості детально описуються ситуації (завдання) та спонуки. Наприклад, ментальні завдання (зображення, 3-вимірний об'єкт, графічний ключ, математичний приклад, звукозапис, слово). Також повинна використовуватися класифікація реакцій-відповідей (ментальне зусилля – зосереджена активація нейронних осередків, викликана означеним стимулом із визначеною унікальною відповіддю) (Рис. 3).

Для оцінки смуг частот в сигналах, таких як ЕЕГ використовується швидке перетворення Фур'є (FFT):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot k \cdot n / N} \quad (2.1)$$

де  $X_k$  - комплексне значення частоти  $k$ ,  $x_n$  - значення сигналу у часовій області на дискретній позиції  $n$ ,  $N$  - загальна кількість точок у сигналі,  $i$  - уявна одиниця  $\sqrt{-1}$ ,  $e$  - основа натурального логарифма.

Таблиця 2.2. Середні значення потужності нейросигналу в мікровольтгах (мкВ) для смуг частот при різних когнітивних станах

Ментальний стан	Дельта (0-4 Гц)	Тета (4-8 Гц)	Альфа (8-13 Гц)	Бета (13-30 Гц)	Гамма (>30 Гц)
Запам'ятовування	18	68	48	72	82
Розслабленість	19	84	35	17	16
Прийняття рішень	17	32	18	83	89
Рух	18	17	17	95	87
Увага	19	18	19	77	84
Стрес	19	19	18	81	91
Інтерес	18	18	17	63	78

Швидке перетворення Фур'є дозволяє виявити основні частотні компоненти та оцінювати різні когнітивні стани.

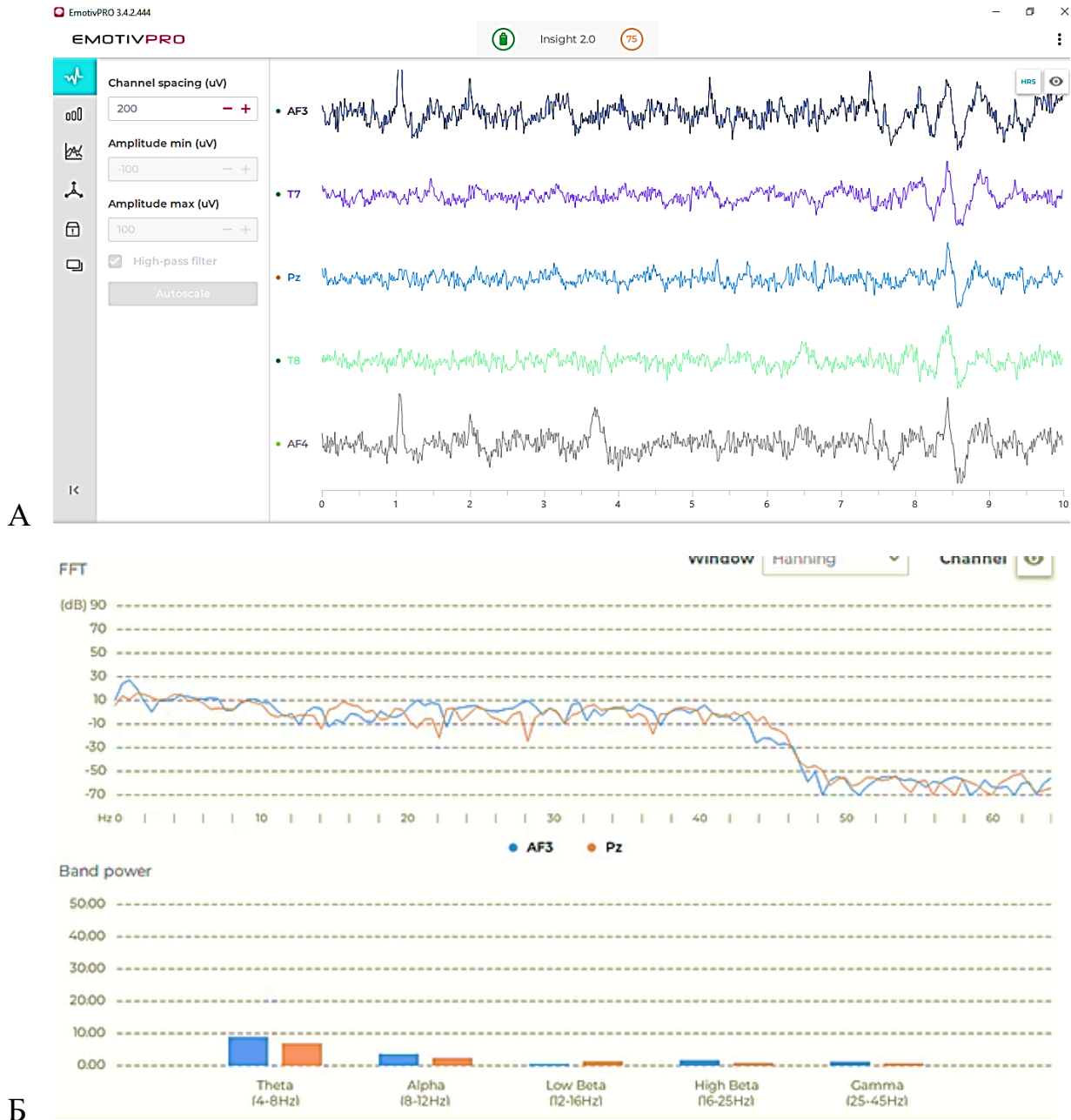


Рисунок 2.4. Візуалізація ЕЕГ дієвих осередків за сенсорами (А) та аналізу смуг частот за швидким перетворенням Фур'є (Б) у середовищі EmotivPro.

При дослідженні оцінюються показники ментального стану під час здійснення проектної діяльності. В якості завдань обираються типові ситуативні задачі з варіантами відповідей. З метою підвищення якості оцінювання додатково можуть використовуватися алгоритми врахування індивідуальних різниць та персоналізовані моделі розуму на основі середніх показників типових даних: частота кліпання очима, релаксація, тривалість переосмислення, частота сонливості, а також типових робочих показників з точністю до визначеної похибки: зосередження, середні частоти стану бадьорості та свідомості,

тривалість та інтенсивність ментального зусилля, тривалість та точність реакції тощо. Для підвищення якості результатів також можна порівнювати середні амплітуди активності правої та лівої півкуль мозку. Кінцеве оцінювання враховує суб'єктивне тестування із декларацією правдивості даних та експертний аналіз типових показників точності рішень [33, 35, 40, 41].

Середній час для одного етапу поліпшення нейропластичності становить 3 місяці. Ця стратегія навчання включає 4 заняття на тиждень по 30 хвилин. Два заняття з навчання грамотності НКІ включають 8 вправ, які базуються на завданнях, що розвивають пам'ять, сприйняття та контроль уваги. Проводяться дві професійні сесії в спеціальному середовищі для закріплення нових навичок у професійному розв'язанні проблем і стані трудової діяльності. Додаткові модулі для вдосконалення свідомого контролю включають розвиток емоційного інтелекту та редукції когнітивних упереджень [35, 42, 43].

## 2.1.2. Оцінка психометричних показників особи, що приймає рішення в проектній діяльності

Дослідження когнітивних метрик будується на психометричних підходах аналізу ментальної активності детально описаних Єнсеном у праці «Обчислення розуму» (1997). Див. Таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Психометричні показники досліджень

Показник	Опис	Від чого залежить
Особа (P)	Особа, яка тестується. Також відома як суб'єкт (S) або спостерігач (O).	Особистісні характеристики, психічний та фізичний стан, контекст проведення тесту
Експериментатор (E)	Особа, яка проводить тест.	Методика проведення експерименту, досвід та професійні навички
Спонука (S)	Зміна певного стану подразника (світла, звуку тощо), що виявляється сенсорним рецептором.	Тип та інтенсивність стимулу, чутливість сенсорних рецепторів
Реакція (R) $R = f(S, A, E, T)$	Виявлений рух або дія P, спричинена появою S; також Відповідь.	Тип стимулу, час реакції, фізичний стан, психічний стан
Стимул реакції (PS)	Позначений S, на який P отримує вказівку реагувати певним чином.	Вказівки експериментатора, контекст завдання, попередній досвід
Підготовчий стимул (IS)	Стимул, що виникає перед RS, призначений як готовий сигнал або підказка.	Тип стимулу, тривалість підготовчого інтервалу, попередній досвід
Підготовчий інтервал (II)	Інтервал між початками PS і RS.	Тривалість інтервалу, тип стимулу, сенсорні модальності
Інтервал попередження (WI)	Інтервал між припиненням II і початком PS.	Тривалість інтервалу, попередній досвід, очікування учасника

<b>Час реакції (RT)</b> $RT = g(RS, A, S, E, T, B)$	Час, що минув між RS і R, зазвичай вимірюється в мілісекундах (мс).	Швидкість реакції, тип стимулу, психічний та фізичний стан, інструкції експериментатора
<b>Час відповіді (RT°)</b> $RT^\circ = h(RS, A, S, E, T, WI, PI)$	Відмінність між RT і Response Time (RT°), де RT стосується умов тестування зі швидкістю реакції.	Інструкції експериментатора, контекст завдання, очікування учасника
<b>Головний ключ (НК)</b>	Клавіша або кнопка, яку Р натискає в очікуванні початку RS.	Розташування клавіші, координація рухів, моторні навички, очікування учасника
<b>Час руху (MT)</b> $MT = i(HK, CK, M, E, T)$	Інтервал між тим, як Р відпускає НК і торкається СК.	Координація рухів, моторні навички, розташування клавіш, швидкість реакції
<b>Час простої реакції (SRT)</b> $SRT = j(S, A, E, T)$	Час між початком одного RS і однією навмисною реакцією.	Тип стимулу, швидкість реакції, очікування учасника
<b>Час реакції вибору (CRT)</b> $CRT = k(RS, A, S, E, T)$	Інтервал для відповіді на вибір між двома або більше різними RS.	Кількість стимулів, складність завдання, попередній досвід, швидкість реакції
<b>Час реакції умовного вибору (CCRT)</b>	CRT, де відповідь Р на RS залежить від додаткових ознак дискримінаційного стимулу.	Складність завдання, тип стимулу, додаткові ознаки, попередній досвід

Елементарне пізнавальне завдання (ЕПЗ) — це будь-яке з можливо дуже великої кількості завдань, у яких особа виконує або їй доручається виконання, для якого існує визначений клас «успішності» або «правильності» результатів чи кінцевих станів, що мають бути досягнуті за допомогою відносно невеликої кількості ментальних процесів або операцій, успішні результати яких залежать від інструкцій, даних людині, або наборів чи планів, прийнятих нею. Більшість парадигм RT в дослідженні, кваліфікуються як ЕСТ.

ЕПЗ має на меті вимірювання когнітивних процесів за допомогою простих задач. Наприклад у певній ситуації ОПР бачить дві опції, А та В, та має визначити, яка з них краще підходить для рішення в даній ситуації<sup>10</sup>. Реакційний час (RT) вимірюється з моменту появи опцій до дії (натискання кнопки учасником):

$$RT = a + b \cdot \log_2(n) \quad (2.2)$$

де  $RT$  - реакційний час;  $a$  - константа, що представляє час необхідний для виконання інших (не когнітивних) процесів;  $b$  - константа, що представляє час на когнітивну обробку;  $n$  - кількість можливих варіантів (у цьому випадку,  $n = 2$ ).

Результат завдання залежить від індивідуальних когнітивних здібностей учасника. Кількість можливих варіантів впливає на складність завдання: чим більше варіантів, тим більше часу потрібне для обробки інформації.

Уявімо, що є певна кількість варіантів для прийняття рішень в контексті інвестицій або вибору технології. Відповідно, є можливі варіанти, які з'являються по чергово: дані в таблицях та прогнози в графіках. Інвестор (P) має обрати інвестицію, коли співпадіння даних у таблицях та прогнози в графіках підтверджують високу ймовірність раціональності рішення.

Тобто реакція P одночасно обумовлена як стимулом таблиці, так і стимулом графіка. (Умовні подразники також можуть бути представлені в різних сенсорних модальностях). Необхідно мати на увазі, що умовний закон правильних відповідей напружує ємність робочої пам'яті P і робить  $CCRT$  значно довшим, ніж  $CRT$ ; це також збільшує помилки відповіді. І  $RT$ , і частота помилок залежать від ступеня, до якого інструкції E підкреслюють швидкість або точність відповіді.

Когнітивні упередження, можуть впливати на рішення ОПР. Наприклад, одна і та ж інформація може бути подана позитивно або негативно, що може змінити сприйняття ризику (фреймінг). Також інвестор може недооцінити або переоцінити важливість певної інформації через її подання, що може призвести до неправильного вибору. Інвестор може помилково бачити зв'язки між даними, які насправді не існують, і приймати рішення на основі цього фальшивого зв'язку.

---

<sup>10</sup> Такі завдання використовуються для вивчення ефекту обмеження рамками.

Через прийняття примарної кореляції інвестор може проігнорувати реальні дані та прийняти необґрунтоване рішення. Інвестор може бути надмірно впевнений у своїх знаннях та здібностях передбачати успіх інвестицій, що може призвести до ризикованих рішень. Надмірна впевненість може змусити інвестора взяти на себе більший ризик, ніж він готовий, що може призвести до значних втрат. Ці упередження можуть збільшити час прийняття рішень і підвищити кількість помилок, що, в свою чергу, вплине на загальний успіх інвестицій або вибору технології.

Час перевірки. Парадигма часу огляду (IT), яку вперше запропонував австралійський когнітивний психолог Дуглас Вікерс, є однією з найбільш досліджених хронометричних парадигм (Вікерс, Неттелбек і Уілсон, 1979). У класичному IT-тесті дискримінаційний стимул складається з двох вертикальних паралельних ліній («ніг»), з'єднаних горизонтальною лінією вгорі, де одна лінія довша за іншу. Після появи точки візуальної фіксації на екрані з'являється пара ліній, з довшою лінією розташованою випадково праворуч або ліворуч. Цю пару ліній швидко замінює маскувальний стимул, який повністю закриває тестовий стимул, щоб запобігти його подальшій обробці.

Учасник тримає кнопку великого пальця в кожній руці і натискає ліву або праву кнопку, щоб вказати, чи довша лінія з'явилася праворуч чи ліворуч. Інструкції наголошують, що це не тест реакційного часу, а вимірювання швидкості сприйняття, і учасник має витратити стільки часу, скільки потрібно, щоб визначити, яка з ліній довша. Учаснику пропонується зробити «найкраще припущення», коли він невпевнений.

Визначається  $t$  - тривалість тестового стимулу і  $\lambda$  - параметр, який представляє тривалість спонуки, необхідної для досягнення 97,5-відсоткової точності в дискримінації.

Параметр  $\lambda$  автоматично визначається адаптивною комп'ютерною програмою на основі продуктивності учасника. Зазначається, що ймовірність

вгадування становить 50 відсотків, тому комп'ютерна програма налаштовує тривалість презентації наступним чином:

- 1) якщо відповідь правильна, тривалість стимулу зменшується на  $\Delta t$ ;
- 2) якщо відповідь неправильна, тривалість стимулу збільшується на  $\Delta t$ .

Тривалість стимулу в кожному випробуванні визначається як:

$$t_{n+1} = t_n - \Delta t \cdot (R - 0.5) \quad (2.3)$$

де  $t_{n+1}$  - тривалість стимулу в наступному випробуванні,  $t_n$  - тривалість спонук в поточному випробуванні,  $\Delta t$  - крок зміни тривалості спонук, а  $R$  - результат відповіді (наприклад, 1 для правильної відповіді, 0 для неправильної).

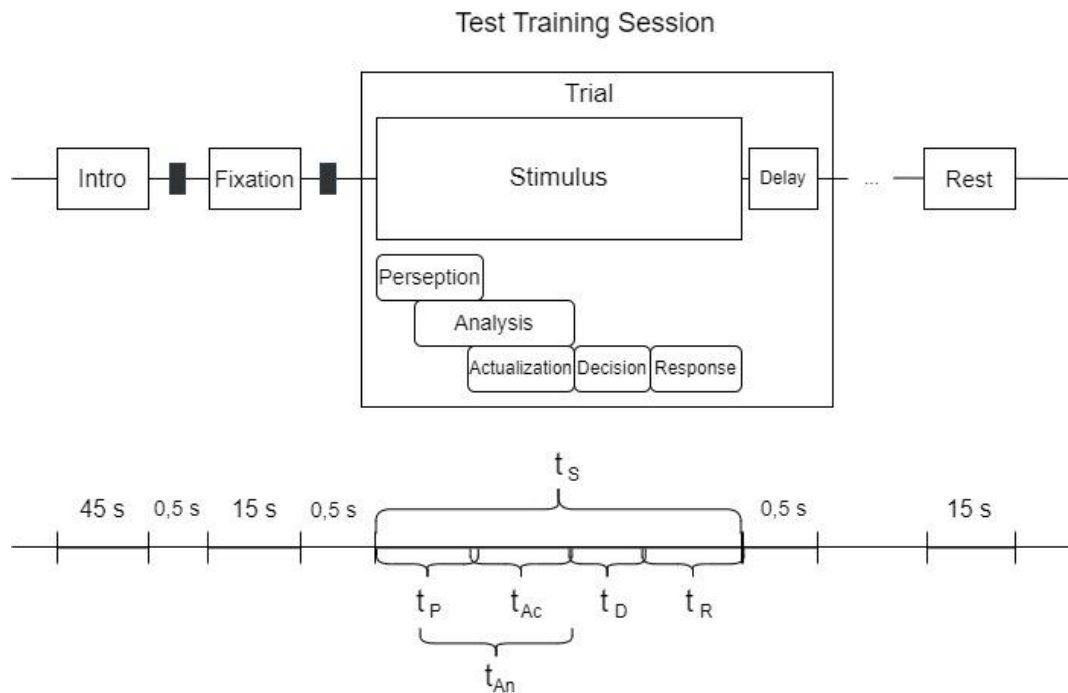


Рисунок 2.5. Дизайн сесії. Кожне завдання представлено як тест із розробленими типами спонук і відповідей, класифікованими окремо. У вступі коротко пояснюється вид завдань і запитань. Там же пояснюються часові вікна. Етап фіксації мав на меті вивчення нормальної ЕЕГ учасників на початку дослідження.[59]

Мета тесту - досягти тривалості спонук  $\lambda$ , при якій учасник досягає 97,5-відсоткової точності в дискримінації. Індивідуальні відмінності в  $\lambda$  залежать

переважно від віку та інтелекту учасників. Значення  $\lambda$  розподіляються навколо середнього значення приблизно 100 мс. Одним з найважливіших аспектів ІТ є те, що  $\lambda$  має стабільно високу кореляцію (приблизно 0,50) з IQ, що є вищим, ніж будь-який інший параметр, отриманий з інших хронометричних парадигм (Kranzler & Jensen, 1989).

Таке дослідження також ілюструє інший поширений метод оцінки ІТ, у якому програма не реактивно «націлюється» на ІТ. Як наслідок, це втрачає певний ступінь ефективності та точності. Час експозиції дискримінаційного подразника заздалегідь визначається  $E$  в комп'ютерній програмі. Встановлена кількість змінного часу впливу стимулу, що коливається між нижньою та верхньою межею швидкості сприйняття в досліджуваній популяції, представлена з однаковою кількістю проб для кожного часу впливу. Відповіді  $R$  оцінюються або як загальна кількість правильних дискримінаційних відповідей, зроблених за весь час експозиції, або як тривалість конкретного часу експозиції, під час якого  $R$  робить певну кількість (або частоту) правильних відповідей, наприклад, 19 із 20. випробування.  $R$ 's ІТ оцінюється як середина інтервалу часу впливу, в якому досягається вказаний критерій. [46]

Психофізичний закон виражає співвідношення між величиною стимулу ( $S$ ), виміряною у фізичних одиницях, і суб'єктивною величиною його ментального представлення ( $p$ ), виміряною в ментальних одиницях, таких як j.n.d.s (just noticeable differences - «найменші помітні відмінності»). Основною формулою для опису цього співвідношення є закон Вебера-Фехнера:

$$p = k \cdot \log (S/S_0) \quad (2.4)$$

де  $p$  - суб'єктивна величина ментального представлення стимулу,  $S$  - величина стимулу, виміряна у фізичних одиницях,  $S_0$  - порогове значення стимулу (мінімальний стимул, який викликає відчуття),  $k$  - константа, яка залежить від конкретного типу стимулу.

Ця формула показує, що суб'єктивне відчуття пропорційно логарифму фізичного стимулу. Інакше кажучи, зростання фізичного стимулу призводить до менш значного зростання суб'єктивного відчуття.

Припустимо, є певна кількість опцій для відповідей, що відповідають рішенням поточного завдання у даній ситуації. Відповідно є можливі *RS*, які з'являються у випадковому порядку: червоне коло на жовтому або синьому фоні та чорне коло на жовтому або синьому фоні. *P* має натиснути червону клавішу, коли червоне коло з'являється на жовтому фоні, але має натиснути чорну клавішу, коли червоне коло з'являється на синьому фоні, і для чорного кола є подібна зміна сигналу. Тобто реакція *P* одночасно обумовлена як стимулом таблиці, так і стимулом графіка. (Умовні подразники також можуть бути представлені в різних сенсорних модальностях). Необхідність мати на увазі умовне правило правильних відповідей напружує ємність робочої пам'яті *P* і робить *CCRT* значно довшим, ніж *CRT*; це також збільшує помилки відповіді. І *RT*, і частота помилок залежать від ступеня, до якого інструкції *E* підкреслюють швидкість або точність відповіді.

Мозкова активність може змінюватися під впливом когнітивних упереджень. Вони можуть змусити сприймати, запам'ятовувати або інтерпретувати інформацію способами, які можуть не відповідати об'єктивній реальності. Коли під час обробки інформації діють когнітивні упередження, певні ділянки мозку стають більш активними або менш активними відносно норми. Наприклад, мигдалина, пов'язана з емоціями, що відіграє певну роль в упередженнях, пов'язаних зі страхом або сприйняттям загрози, стає більш активною. Це може відбуватися під впливом подразників та спонук, що викликають страх. Префронтальна кора головного мозку, відповідальна за виконавчі функції, впливає на упередження, пов'язані з прийняттям рішень і судженнями. Вона може проявляти змінену активність під час упередженого мислення [47].

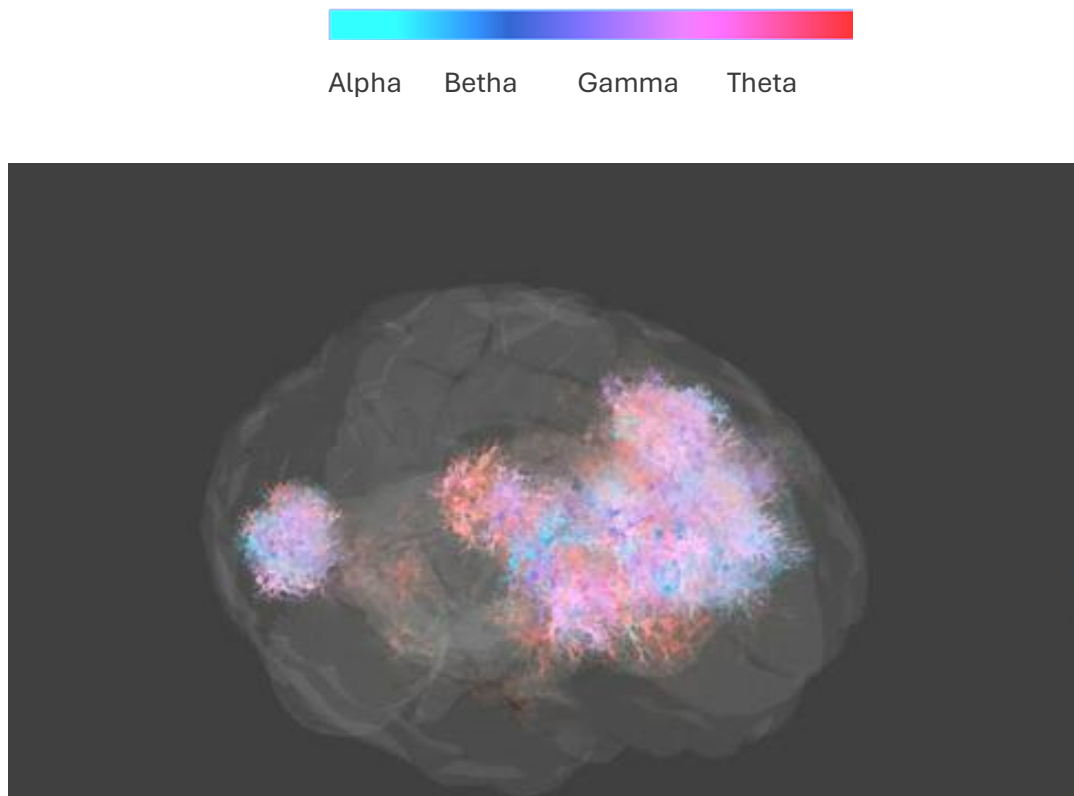


Рисунок 2.6. Візуалізація відображення розуму як активності головного мозку в реальному часі (Emotiv BrainViz).

З метою інтерпретації когнітивних упереджень досліджують модифікації ментальних станів під час втручання в діяльність (соціальний вплив, медіуми, дія іншого розуму). Учасники уявляють неоднозначні соціальні ситуації з визначеними позитивними результатами. У групі СВМ (модифікованих когнітивних впливів) зосереджуються на позитивних результатах, а контрольна група (групи СВМ-І) - на негативних. В ході аналізу активності мозку учасника групи СВМ виявлено більшу активацію в соматомоторних і соматосенсорних областях, потиличній частці, веретеноподібній звивині та таламусі. Змінена діяльність у цих областях мозку під час інтерпретації неоднозначних соціальних ситуацій показала значну групову зміну взаємодії соціальної тривоги. Позитивні образи, створені СВМ-І, можуть змінити інтерпретації, щоб утримувати соціальну винагороду, потенційно зменшуючи соціальну тривожність [21,48].

## 2.2. Нейроосвітнє середовище і стратегія тренування нейропластичності

Під час основної частини навчання проводилась якісна оцінка прийняття рішень у 30-хвилинних циклах професійної діяльності на різних етапах проекту, а також у непередбачуваних умовах.

Нейроосвітнє середовище для малої психологічної групи (5-8 осіб) потребує особливого підходу для тренування нейропластичності та зменшення впливу когнітивних упереджень. Усі особи, що беруть участь у цьому процесі, мають свій унікальний розум, а тому сесії проводяться з урахуванням динаміки таких показників, як увага, пам'ять, стрес, досвід і темперамент. У ході кожної сесії учасники виконують практичні завдання, що мають певну множину рішень, класифікованих за показниками оптимальності, допустимості та помилки відповідно до ситуації. Враховується ймовірність правильності рішень та ризику втрат.

Ці дані зберігаються у спеціальній базі даних і на їх основі формується певний "ідеал розуму", який використовується для поширення досвіду серед інших команд. Кожне завдання має визначені показники відповідності та якості рішень, що дозволяє проводити ґрунтовний аналіз результатів.

Математично це можна описати як систему, де кожне рішення  $R$  має відповідну оцінку  $O(R) = f(A, M, S, E, T)$ , де  $A$  – увага (здатність концентруватися на завданні),  $M$  – пам'ять (здатність запам'ятовувати та відтворювати інформацію),  $S$  – стрес (рівень стресу, який може впливати на когнітивні процеси),  $E$  – досвід (набутий досвід, який впливає на прийняття рішень),  $T$  – темперамент (індивідуальні особливості, які впливають на реакції та поведінку). Кожен з цих показників може бути вимірний і врахований при аналізі рішень.

Крім того, важливо враховувати ймовірність правильності рішення  $P(R)$  та ризику втрат  $L(R)$ :

$$P(R) = g(A, M, S, E, T), L(R) = h(A, M, S, E, T). \quad (2.5)$$

Лістинг 2.1. Приклад псевдокоду експериментальної сесії для енцефалографа Insight 2.0, який можна використовувати в EmotivPro або PsychoPy:

```
python
# Ініціалізація
Initialize_EmotivPro_or_PsychoPy()
Initialize_EEG_Insight_2_0()

# Параметри учасників
participants = [participant1, participant2, participant3, participant4, participant5]
# Мала психологічна група (5-8 осіб)

# Функція для оцінки когнітивних метрик
def evaluate_cognitive_metrics(participant):
    # Оцінка уваги (A), пам'яті (M), стресу (S), досвіду (E), темпераменту (T)
    A = measure_attention(participant)
    M = measure_memory(participant)
    S = measure_stress(participant)
    E = measure_experience(participant)
    T = measure_temperament(participant)
    return A, M, S, E, T

# Основна частина навчання
for cycle in range(number_of_cycles):
    for participant in participants:
        start_new_cycle()

        # Виконання практичних завдань
        tasks = generate_tasks()

        for task in tasks:
            # Оцінка прийняття рішень
            R = perform_task(task)
            A, M, S, E, T = evaluate_cognitive_metrics(participant)
```

```

# Оцінка рішення  $O(R) = f(A, M, S, E, T)$ 
O_R = f(A, M, S, E, T)

# Ймовірність правильності рішення  $P(R)$ 
P_R = g(A, M, S, E, T)

# Ризики втрат  $L(R)$ 
L_R = h(A, M, S, E, T)

# Збереження даних
save_data_to_database(participant, task, O_R, P_R, L_R)

end_cycle()

# Створення "ідеалу розуму"
ideal_mind = create_ideal_mind_from_database()

# Поширення досвіду серед інших команд
share_experience_with_teams(ideal_mind)

```

Функція `evaluate_cognitive_metrics` оцінює когнітивні метрики (увага, пам'ять, стрес, досвід, темперамент) для кожного учасника. Під час виконання завдань оцінюються рішення ( $O(R)$ ), ймовірність правильності рішень ( $P(R)$ ) та ризики втрат ( $L(R)$ ), і зберігаються у базі даних.

Метою такого середовища є розвинути стійкий до упереджень розум, здатний приймати ефективні рішення у професійних умовах, наприклад, у проектній діяльності. Такий підхід допоможе адаптувати когнітивну систему до складних умов та сприяти покращенню якості прийнятих рішень.

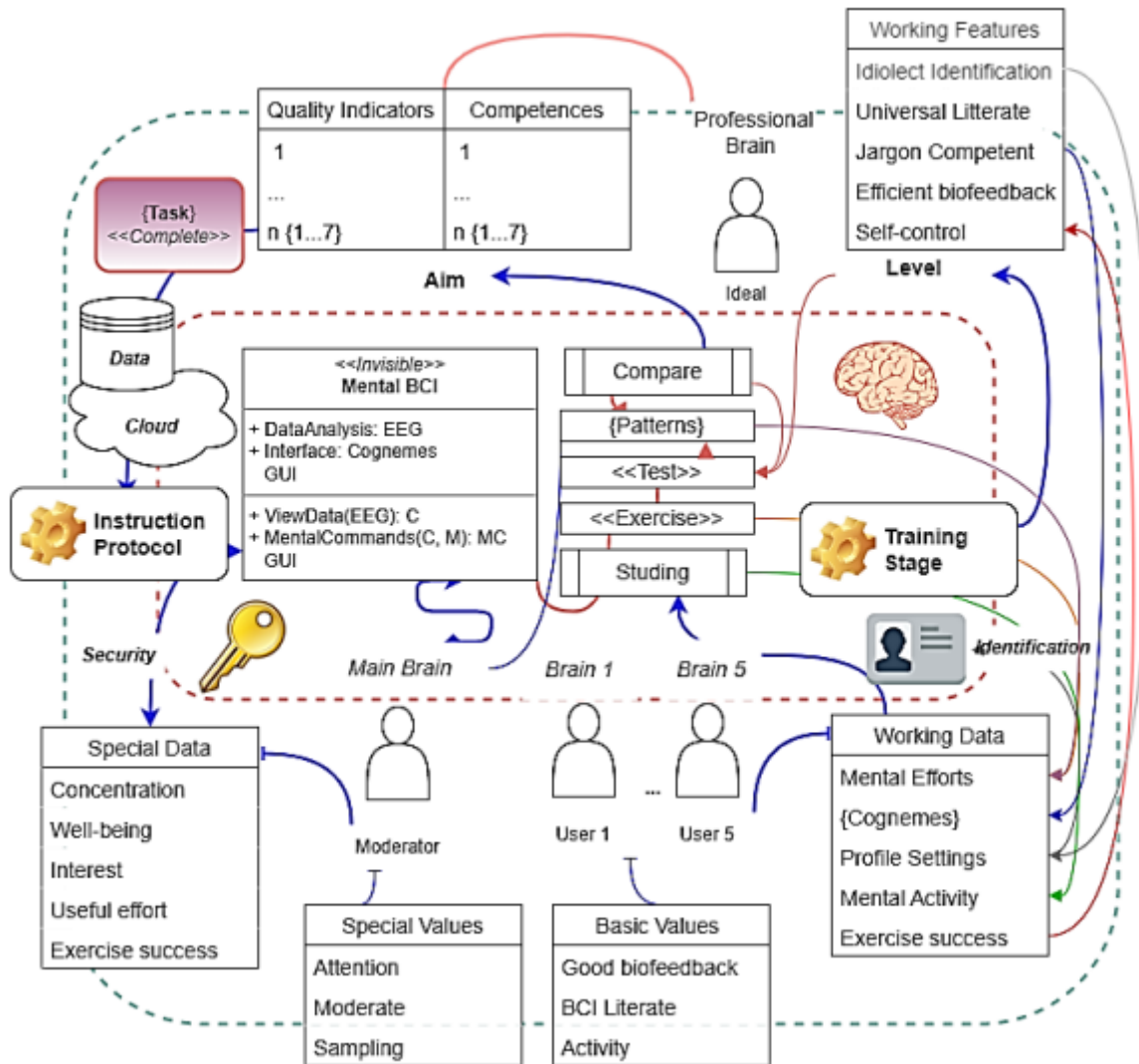


Рисунок 2.6. Когнітивна архітектура проектного середовища з можливістю застосування нейроосвітніх стратегій та моніторингу ментального здоров'я

На основі нейронних корелятивів свідомості можна представити віртуальний розум для даного середовища як:

$$C(t) = \sum_{i=1}^N w_i \cdot \phi_i(t) + \sum_{j=1}^M \alpha_j \cdot \psi_j(t) + \epsilon(t) \quad (2.6)$$

де  $C(t)$  — когнітивна метрика в момент часу  $t$ ,  $N$  — кількість електродів для ЕЕГ,  $w_i$  — ваговий коефіцієнт для електрода  $i$ ,  $\phi_i$  — сигнал ЕЕГ з електрода  $i$  в момент часу  $t$ ,  $M$  — кількість додаткових когнітивних чинників (наприклад, увага, пам'ять, стрес),  $\alpha_j$  — ваговий коефіцієнт для когнітивного чинника  $j$ ,  $\psi_j(t)$  — значення когнітивного чинника  $j$  в момент часу  $t$ ,  $\epsilon(t)$  — шум або помилка вимірювання в момент часу  $t$ .

Реалізацію моделі можна здійснити як окремий модуль обчислення когнітивної метрики ОПР. Спочатку ініціалізується кількість електродів для ЕЕГ ( $N$ ) та кількість додаткових когнітивних чинників ( $M$ ). Ці дані можуть бути додатково розширені за класифікацією позицій електродів із врахуванням когнітивних метрик. Далі встановлюються вагові коефіцієнти для електродів ( $w$ ) та когнітивних чинників ( $alpha$ ). Функція *get\_eeg\_signal(i, t)* отримує сигнал ЕЕГ з електрода  $i$  в момент часу  $t$ , тоді як функція *get\_cognitive\_factor(j, t)* отримує значення когнітивного чинника  $j$  в момент часу  $t$ . Функція *calculate\_cognitive\_metric(t)* обчислює когнітивну метрику  $C(t)$  за заданою формулою, включаючи суму вагових коефіцієнтів для ЕЕГ сигналів та когнітивних чинників, а також шум або помилку вимірювання. Функція *get\_noise(t)* генерує шум або помилку в момент часу  $t$ . Основний цикл обчислює когнітивну метрику для кожного з визначених моментів часу (*time\_points*) та зберігає результати у списку *cognitive\_metrics*. Результати когнітивних метрик виводяться для визначених моментів часу.

Лістинг 2.2. Приклад псевдокоду для обчислення когнітивної метрики за формулою віртуального розуму на основі нейронних корелятив свідомості

```
python
# Ініціалізація параметрів
N = 8 # кількість електродів для ЕЕГ
M = 5 # кількість додаткових когнітивних чинників

# Вагові коефіцієнти для електродів і когнітивних чинників
w = [w1, w2, w3, w4, w5, w6, w7, w8]
alpha = [alpha1, alpha2, alpha3, alpha4, alpha5]

# Функції для отримання сигналів ЕЕГ і когнітивних чинників
def get_eeg_signal(i, t):
    # Отримання сигналу ЕЕГ з електрода і в момент часу t
    return phi_i(t)
```

```

def get_cognitive_factor(j, t):
    # Отримання значення когнітивного чинника j в момент часу t
    return psi_j(t)

# Функція для обчислення когнітивної метрики C(t)
def calculate_cognitive_metric(t):
    eeg_sum = sum(w[i] * get_eeg_signal(i, t) for i in range(N))
    cognitive_sum = sum(alpha[j] * get_cognitive_factor(j, t) for j in range(M))
    epsilon = get_noise(t)
    C_t = eeg_sum + cognitive_sum + epsilon
    return C_t

# Функція для отримання шуму або помилки вимірювання
def get_noise(t):
    # Генерація шуму або помилки вимірювання в момент часу t
    return epsilon(t)

# Основний цикл для обчислення когнітивної метрики у визначені моменти часу
time_points = [t1, t2, t3, t4, t5] # Список моментів часу
cognitive_metrics = []

for t in time_points:
    C_t = calculate_cognitive_metric(t)
    cognitive_metrics.append(C_t)

# Вивід результатів
print("Когнітивні метрики у визначені моменти часу:", cognitive_metrics)

```

Проблема когнітивної упередженості полягає в наступному: на етапі підготовки до ідентифікації слід оцінити ризик когнітивної упередженості в найближчий час, а під час ідентифікації — визначити, чи небажаний ментальний стан або рішення могли бути спричинені когнітивною упередженістю. Для

оптимізації роботи системи пропонується вводити модуль ідентифікації когнітивної упередженості паралельно з основним модулем завдання.

Систему можна додатково зміцнити за допомогою транскраніальної магнето-резонансної томографії, яка здатна зменшити упередженість або активувати зосередженість чи нейтральний стан у осіб із нижчим рівнем нейрограмотності.

Дослідження ЕЕГ здійснюється за методикою аналізу потенціалів, пов'язаних з подією (стимулом, ментальним зусиллям або станом). Інтенсивність потенціалу активації оцінюється за діапазоном потужності ЕЕГ. Спектральний аналіз сигналу виконується за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є, що дозволяє виділити ритми синхронізації активних нейронних осередків (Табл. 2.5). Це дозволяє отримати образ кожного слова (*когнеми* - Нейхольт А.) перформансу (ментального зусилля, реакції, рішення) та оцінити фон ментального стану (емоції, зосередженість, релаксація) [14]. Часово-якісне співвідношення цих метрик та реакції щодо прийнятної точності дає уявлення про коректність виконання задачі розпізнавання.

Вимога повторної ідентифікації виникає в разі 1) невідповідності образу когнеми до нормального значення, оновленого протягом останніх 48 годин, або 2) розбіжності даних когнітивних метрик з типовими показниками, зафіксованими протягом останніх 30-180 хвилин.

Вразливість когнітивного показника вважається високою, якщо 1) когнітивні метрики відповідають небажаній локалізації (рис. 2, квадрант 2) та 2) здійснюються дії, що не відповідають типовим інструкціям (невідповідність послідовності, неточність відповідей). Для виявлення цього стану використовуються методи аналізу незалежних компонент та порівняння середніх амплітуд сенсорів різних півкуль (AF3 із AF4 та T7 із T8).

Результати експериментів та робочих досліджень оцінюються експертами, враховуються також анкети суб'єктивного оцінювання. Оцінювання проводиться методом обґрунтування частки успішності дотримання показника щодо

ідеального значення у відсотках. Кінцеві результати представлені у формі таблиці кореляції чинників [28, 35, 46, 49].

*Когнітивні метрики перформансу, які порівнюються при ідентифікації когнітивного стану особи.* Когнітивний стрес часто виникає через завдання, які вимагають тривалої уваги та концентрації, що призводить до розумової втоми. Це може спричинити емоційні реакції, такі як тривога, розчарування або дратівливість, що впливає на продуктивність. Коли виникає стрес, активується вісь гіпоталамус-гіпофіз-наднирники (НРА), що веде до вивільнення кортизолу, гормону стресу. Стрес також відображається на ЕЕГ-паттернах, зокрема через підвищення активності бета-хвиль (що свідчить про настороженість і тривогу) та зниження активності альфа-хвиль (що вказує на розслаблення).

Когнітивний стрес відповідає небажаній мотивації особи, однак важливо враховувати співвідношення вразливих показників. Надмірний або недостатній рівень цих показників може свідчити про ризик когнітивної упередженості, і такі результати додатково підкріплюються суб'єктивним опитуванням. В таких випадках варто впроваджувати заходи для підкріплення даних за допомогою елементарних завдань з вищим рівнем вивченості, а також запропонувати можливість навчання або практики для відновлення бажаного стану.

Когнітивний стрес оцінюється за спектральною густиною ЕЕГ-сигналів для окремих частот. Збільшення густини різних частот зазвичай свідчить про підвищений когнітивний стрес [50].

$$P(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\pi f n / N} \right|^2 \quad (2.7)$$

де  $P(f)$  – потужність частоти ( $f$ ), ( $N$ ) кількість зразків,  $x(n)$  – значення ЕЕГ у мілівольтах. Частота дискретизації сигналу  $0.5$  Гц.

Потужність частоти сигналу (певного ритму ЕЕГ):

$$BP = \sum_{f_1}^{f_2} P(f), \quad (2.8)$$

де  $f_1, f_2$  – крайні значення частоти смуги в Герцах.

Для оцінки когнітивного стресу використовують бета і гамма-частоти:

$$PSD_{\beta} = \frac{1}{N} \sum_{f=13}^{30} |X(f)|^2, \quad (2.9)$$

$$PSD_{\gamma} = \frac{1}{N} \sum_{f=30}^{50} |X(f)|^2. \quad (2.10)$$

Альтернативно можна оцінювати рівень когнітивного стресу за допомогою фронтальної альфа-асиметрії (Frontal Alfa Asymmetry). Цей показник базується на різниці альфа-потужності між лівою та правою лобовими частками.[51] Фронтальна асиметрія альфа-смути використовується також для оцінки емоційного стану:

$$FFA = \log(\text{Power}_{\alpha, \text{right}}) - \log(\text{Power}_{\alpha, \text{left}}). \quad (2.11)$$

Потенціали, пов'язані з подіями (Event Related Potential, ERP), є типовими електрофізіологічними реакціями мозку на певні відчуття, когнітивні або емоційні стани, або моторні зусилля, які виникають у відповідь на специфічні стимули. Ці відповіді фіксуються у визначених часово-потужнісних інтервалах досліджуваної активності. Наприклад, компонент P300, що виникає приблизно через 300 мс після початку стимулу, часто використовується для оцінки рівня уваги.

$$P300_{\text{ampl.}} = \max(\text{ERP}_{300\text{ms}}) - \text{baseline}. \quad (2.12)$$

Ці показники можна використати для визначення когнітивного стану за допомогою ментального завдання з оцінкою відповіді на стимул. У такому випадку оцінюються ментальні зусилля. Якщо відповідь має достатні показники – сесія продовжується, якщо ні – фіксуються дані, класифікується випадок, складається суб'єктивний опитувальник і розробляється тренувальний план. Для ідентифікації когнітивного стану особи можна використати дані навчання у типових професійних умовах та задачах, під час перерв та релаксації або виконання типових завдань [52],  $\theta/\beta$  ratio =  $\frac{\text{Power}_{\theta}}{\text{Power}_{\beta}}$  (2.11).

Спектральна густина тета-смути дозволяє оцінити адекватність контролю. Саме ця частота є індикатором когнітивних упереджень, що можуть виникнути

в процесі прийняття рішень (фреймінг, парейдоля, прив'язка). Активація тета-частоти також може свідчити про розсіяність уваги [53],

$$PSD_{\theta} = \frac{1}{N} \sum_{f=4}^8 |X(f)|^2 . \quad (2.13)$$

Псевдокод прикладу розпізнавання когнітивної упередженості на рівні підготовки до дій представлено у лістингу 2.1.

Лістинг 2.3. Псевдокод прикладу вивчення ЕЕГ даних особи в типовому завданні

```
import numpy as np
import mne
from scipy.signal import welch
import matplotlib.pyplot as plt

# Завантажити ЕЕГ
# Підтвердження вводу сирих даних
raw = mne.io.read_raw_fif('your_eeg_data.fif', preload=True)

# Задати спектр частот по смугах
theta_band = (4, 8)
beta_band = (13, 30)
alpha_band = (8, 12)

# Розрахувати спектральну густину частот за допомогою функцій Велча
def compute_psd(data, sfreq, band):
    freqs, psd = welch(data, sfreq, nperseg=1024)
    band_power = np.mean(psd[(freqs >= band[0]) & (freqs <= band[1])])
    return band_power

# Розрахувати відношення активації тета-бета частот
def theta_beta_ratio(data, sfreq):
```

```
theta_power = compute_psd(data, sfreq, theta_band)
beta_power = compute_psd(data, sfreq, beta_band)
return theta_power / beta_power

# Розрахувати фронтальну асиметрію альфа-частоти
def frontal_alpha_asymmetry(data, sfreq, left_channels, right_channels):
    left_alpha_power = np.mean([compute_psd(data[ch], sfreq, alpha_band) for ch in
left_channels])
    right_alpha_power = np.mean([compute_psd(data[ch], sfreq, alpha_band) for ch
in right_channels])
    return left_alpha_power - right_alpha_power

# Визначити канали для фронтальної альфа частоти
left_frontal_channels = ['AF3', 'T7']
right_frontal_channels = ['AF4', 'T8']

# Виділити епохи для нормального стану і спонук ідентифікації
events = mne.find_events(raw)
event_id = {'baseline': 1, 'stimuli': 2}
epochs = mne.Epochs(raw, events, event_id, tmin=-0.2, tmax=0.5, baseline=(None,
0), preload=True)

# Розрахувати потенціал пов'язаний з подією (ідентифікаційною спонукую)
erp = epochs['stimuli'].average()

# Дослідити виділені епохи
baseline_data = epochs['baseline'].get_data()
stimuli_data = epochs['stimuli'].get_data()

# Дослідити дані непарного каналу
```

```
channel = 'Pz'
sfreq = raw.info['sfreq']

# Розрахувати відношення тета-бета смуг в підготовці та стимулі
baseline_theta_beta = theta_beta_ratio(baseline_data[:,
raw.ch_names.index(channel), :], sfreq)
stimuli_theta_beta = theta_beta_ratio(stimuli_data[:,
raw.ch_names.index(channel), :], sfreq)

# Розрахувати асиметрію фронтальної альфа частоти в підготовці та стимулі
baseline_alpha_asymmetry = frontal_alpha_asymmetry(baseline_data, sfreq,
left_frontal_channels, right_frontal_channels)
stimuli_alpha_asymmetry = frontal_alpha_asymmetry(stimuli_data, sfreq,
left_frontal_channels, right_frontal_channels)

# Вивести ERP
erp.plot()

print(f'Baseline Theta/Beta Ratio: {baseline_theta_beta}')
print(f'Stimuli Theta/Beta Ratio: {stimuli_theta_beta}')
print(f'Baseline Frontal Alpha Asymmetry: {baseline_alpha_asymmetry}')
print(f'Stimuli Frontal Alpha Asymmetry: {stimuli_alpha_asymmetry}')
```

### 2.2.1. Алгоритм зниження впливу когнітивних упереджень за ЕЕГ на прийняття типових рішень у професійних умовах та навчанні.

1. Завантажити дані ЕЕГ за розслабленого стану (baseline 30 с) на даний момент. Порівняти зі збереженими в базі даних за допомогою оцінки відношення смуг частот та фронтальної асиметрії.
2. Перевірити стан когнітивної упередженості особи. Якщо ризик вищий за допустимий – застосувати зменшення впливу когнітивних упереджень.
3. Ввести умову задачі (stimulus 15-150 с). Завантажити дані ЕЕГ та відповіді. Порівняти із типовими індивідуальними даними.
4. Якщо актуальні дані відповідають передбаченим показникам – продовжити.
5. (Додатково) Запропонувати елементарне когнітивне завдання на основі анкети професійної компетентності. Виміряти рівень володіння контролем уваги та ментального стану, оцінити нейрограмотність.
6. Якщо завдання виконані коректно – продовжити навчання. Якщо ні – зберегти тип помилки для повторного тренування.
7. Сформувати суб'єктивний опитувальник. Провести аналіз сесії з врахуванням відповідей.

Псевдокод виконання алгоритму наведено у лістингу 2.2

Лістинг 2.4 Псевдокод зниження впливу когнітивних упереджень на прийняття типових рішень у професійних умовах та навчанні

```
import mne
import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
```

```
from sklearn.metrics import classification_report, accuracy_score

# Завантажити ЕЕГ дані
def load_eeg_data(file_path):
    raw = mne.io.read_raw_fif(file_path, preload=True)
    return raw

# Препроцесінг ЕЕГ даних
def preprocess_eeg_data(raw):
    # Apply bandpass filter (0.1-40 Hz)
    raw.filter(0.1, 40, fir_design='firwin')

    # Apply notch filter to remove powerline noise (50 Hz)
    raw.notch_filter(50, fir_design='firwin')

    # Resample data to 200 Hz
    raw.resample(200, npad="auto")

    return raw

# Виділення епох довкола маркерів подій
def extract_epochs(raw, event_id, tmin=-0.2, tmax=0.5):
    events = mne.find_events(raw, stim_channel='STI 014')
    epochs = mne.Epochs(raw, events, event_id, tmin, tmax, baseline=(None, 0),
preload=True)
    return epochs

# Виділення потужностей смуг частот
def extract_features(epochs):
    # Define frequency bands
```

```

bands = {
    'delta': (1, 4),
    'theta': (4, 8),
    'alpha': (8, 12),
    'beta': (12, 30)
}

features = {}
for band, (fmin, fmax) in bands.items():
    power = mne.time_frequency.psd_welch(epochs, fmin=fmin, fmax=fmax,
n_fft=256)
    features[band] = np.mean(power, axis=1)

return features

# Підготовка даних до навчання
def prepare_ml_data(features, labels):
    X = pd.DataFrame(features)
    y = pd.Series(labels)
    return train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)

# Тренування моделі
def train_evaluate_model(X_train, X_test, y_train, y_test):
    model = RandomForestClassifier(n_estimators=100, random_state=42)
    model.fit(X_train, y_train)
    y_pred = model.predict(X_test)
    print(classification_report(y_test, y_pred))
    print(f'Accuracy: {accuracy_score(y_test, y_pred)}')

# Головна функція обробки ЕЕГ та визначення когнітивних упереджень

```

```
def main(file_path, event_id, labels):
    raw = load_eeg_data(file_path)
    raw = preprocess_eeg_data(raw)
    epochs = extract_epochs(raw, event_id)
    features = extract_features(epochs)
    X_train, X_test, y_train, y_test = prepare_ml_data(features, labels)
    train_evaluate_model(X_train, X_test, y_train, y_test)

# Модуль зниження впливу когнітивних упереджень
def preprocess_eeg(eeg_data):
    eeg_data = remove_artifacts(eeg_data)
    eeg_data = apply_bandpass_filter(eeg_data)
    return eeg_data

def extract_features(eeg_data):
    time_features = extract_time_domain_features(eeg_data)
    freq_features = extract_frequency_domain_features(eeg_data)
    spatial_features = extract_spatial_features(eeg_data)
    return concatenate_features(time_features, freq_features, spatial_features)

def mitigate_bias(features):
    normalized_features = normalize(features)
    adapted_features = domain_adaptation(normalized_features)
    return adapted_features

def train_model(features, labels):
    model = initialize_model()
    model = cross_validate(model, features, labels)
    return model
```

```

def identify_intention(eeg_data, model):
    preprocessed_data = preprocess_eeg(eeg_data)
    features = extract_features(preprocessed_data)
    mitigated_features = mitigate_bias(features)
    intention = model.predict(mitigated_features)
    return intention

# Main workflow
eeg_data = collect_eeg_data()
preprocessed_data = preprocess_eeg(eeg_data)
features = extract_features(preprocessed_data)
mitigated_features = mitigate_bias(features)
model = train_model(mitigated_features, labels)
intention = identify_intention(new_eeg_data, model)

# Приклад застосування
if __name__ == "__main__":
    file_path = 'path/to/eeg_data.fif'
    event_id = {'bias_event': 1} # Ідентифікація випадку когнітивного
упередження
    labels = [0, 1, 0, 1, 0, 1] # Ознака (0: no bias, 1: bias)
    main(file_path, event_id, labels)

```

Ефективність розпізнавання оцінюється за показниками точності та вчасності (відповідність образів за оптимальний час). Чинниками якості можна визначити «нейрограмотність», «нейропластичність», «кількість учасників», «вік», «стать», «досвід», «складність завдання/стимулу», «темперамент учасника», «метод», «регулярність занять». Вища точність розпізнавання (85%) була досягнута у комбінації: «тип спонуки: 3д об'єкт», «тип метрики: ментальне зусилля (1-3 конфігурації із врахуванням послідовності)», «4 вправи тренування

нейропластичності з метою умовної редукції когнітивних упереджень двічі на тиждень», «2 оновлення відбитка розуму на тиждень», «метод порівняння середніх амплітуд потенціалів активації нейронних центрів різних півкуль».

Оцінка кореляції факторів якості ідентифікації стану упередження проводиться за результатами експертного оцінювання. Враховуються рівні нейрограмотності, нейропластичності, кількість учасників, стать, досвід, складність завдань, темперамент або тип особистості, програма занять (метод), регулярність. Попередні результати для задачі проектного оцінювання наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Кореляція факторів якості ідентифікації когнітивних метрик в НКС за результатами експертного оцінювання

	Нейрогр.	Нейропл.	Кількість	Вік	Стать	Досвід	Складн.	Темперам	Метод	Регулярн.
Нейрогр.	1,000	0,997	-0,943	0,789	0,834	0,999	-0,404	0,756	-0,660	-0,715
Нейропл.	0,997	1,000	-0,967	0,837	0,877	0,993	-0,327	0,807	-0,596	-0,655
Кількість	-0,943	-0,967	1,000	-0,948	-0,970	-0,932	0,077	-0,931	0,373	0,441
Вік	0,789	0,837	-0,948	1,000	0,997	0,768	0,243	0,999	-0,059	-0,134
Стать	0,834	0,877	-0,970	0,997	1,000	0,816	0,167	0,992	-0,136	-0,134
Досвід	0,999	0,993	-0,932	0,768	0,816	1,000	-0,434	0,734	-0,684	-0,737
Складн.	-0,404	-0,327	0,077	0,243	0,167	-0,434	1,000	0,294	0,954	0,929
Темперам	0,756	0,807	-0,931	0,999	0,992	0,734	0,294	1,000	-0,007	-0,082
Метод	-0,660	-0,596	0,373	-0,059	-0,136	-0,684	0,954	-0,007	1,000	0,997
Регулярн.	-0,715	-0,655	0,441	-0,134	-0,210	-0,737	0,929	-0,082	0,997	1,000

У межах попереднього тестування використовувався датасет<sup>11</sup> набору даних із записів ЕЕГ від 22 суб'єктів для розв'язання складних математичних задач, 24 для тесту розумового виклику Трієра, 24 для тесту кольорових слів Струпа, 22 і 20 для записів розслабленого стану для вивчення впливу стресу на пам'ять і прийняття рішень, який також підходить для дослідження когнітивних упереджень. Навчання підсилювалося імітованими даними у MATLAB EEGLAB (Див.Додаток Г)

<sup>11</sup> Mane, Megha (2023), "An EEG Recordings Dataset for Mental Stress Detection", Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/wnshbvdxs2.1

### 2.2.2. Вимоги до точності отриманих результатів

Дослідження показали несподівані результати, зокрема негативну кореляцію з регулярністю тренувань. На початкових етапах або при високій частоті оновлення стимулів та умов виникає затримка реакції через упередженість знаннями та досвідом. Скорочення кількості занять або запитів ідентифікації, а також зниження частоти оновлення даних призводить до зниження точності результатів через погіршення навичок реакції.

Психологічні особливості дослідження вказують на високу негативну кореляцію з ефектом спостереження: чим більше різних суб'єктів, тим нижча точність, що пояснюється обмеженістю пам'яті. Цю проблему намагаються вирішити на етапі підбору кандидатів, обмежуючи вік учасників від 30 до 50 років. Додатково рекомендується враховувати тип особистості під час тестування.

Підбір завдань, розробка тестів та навчання суб'єктів позитивно корелюють з якістю результатів розпізнавання. Кількість суб'єктів залежить від обсягу даних, які необхідно зібрати. Для більшої кількості суб'єктів рекомендується обмежити кількість електродів та розробляти складніші завдання, щоб зібрати більше даних.

Проблеми розвитку технології також включають непостійність та неоднозначність образів, що можуть бути зумовлені гендерно-віковою різницею учасників, емоційним станом, ступенем нейрограмотності та нейропластичності, типовою діяльністю мозку, стресовістю умов та самопочуттям. Вирішенням цих проблем є розробка складних алгоритмів з кількома фільтрами.

Також важливо узгоджувати дані з клінічно та правово визначеними стандартами. Сьогодні психометричні дослідження з використанням нейрокомп'ютерних інтерфейсів вже застосовуються в експериментальних досудових розслідуваннях у Франції. У 2010 році такі техніки були введені в практику та легітимізовані у 2014 році [54, 55].

На точність може вплинути збільшення кількості суб'єктів, а також зміна патернів мозкових сигналів з часом, що впливає на продуктивність. Для продовження дослідження цей підхід можна додатково перевірити за допомогою клінічної ЕЕГ-системи, щоб дослідити можливість зменшення кількості електродів. (Див. Додаток Д, З)

Деякі пристрої вже дозволяють збирати інформацію протягом тривалого часу з високою якістю. Наприклад, ЕЕГ-гарнітури, такі як Emotiv MN8 Earbuds, дозволяють фіксувати рівень уваги та стресу під час використання. У 2023 році Apple запатентувала нову гарнітуру Air Pods Sensor System з ЕЕГ-датчиками. Система сенсорів g.Pangolin дозволяє знімати ЕЕГ сигнали як мозку, так і периферії, забезпечуючи зручність використання протягом тривалого часу [56].

Таблиця 2.5. Характеристики портативних енцефалографів

Модель	Кількість каналів	Частота дискретизації	Методи обробки даних	Точність	Вага	Тривалість роботи батареї
Muse S	4	256 Гц	Фільтрування, артефактна корекція	Висока	41 г	До 10 годин
Emotiv Eroc+	14	128 Гц	Фільтрування, артефактна корекція, аналіз частот	Висока	200 г	До 12 годин
NeuroSky MindWave	1	512 Гц	Фільтрування	Середня	90 г	До 8 годин
OpenBCI Cyton	8	250 Гц	Фільтрування, артефактна корекція, аналіз частот	Висока	85 г	До 24 годин

### 2.2.3. Оцінка отриманих практичних результатів

У дослідженні використовується портативний електроенцефалограф. Характеристики наведені у таблиці 2.7. На рисунку 2.5 наведено вигляд робочого місця і положення електроенцефалографа.

Таблиця 2.6. Характеристики Emotiv Insight 2.0.

<b>Кількість каналів</b>	5 (плюс CMS/DRL референс на лівій мастоїдній кістці)
<b>Позиції 10-20</b>	AF3, AF4, T7, T8, Pz
<b>Метод вибірки</b>	Послідовна вибірка, один ADC
<b>Частота вибірки</b>	128 SPS (2048 Гц внутрішня)
<b>Роздільна здатність EEG</b>	16 біт, 1 LSB = 0.128 $\mu$ V
<b>Смуга пропускання</b>	0.5 - 45 Гц, цифрові фільтри на 50 і 60 Гц
<b>Фільтрація</b>	Вбудований цифровий фільтр 5-го порядку Sinc
<b>Динамічний діапазон</b>	8400 $\mu$ V (pp)
<b>Режим з'єднання</b>	АС з'єднання
<b>Підключення</b>	Bluetooth 5.0 зворотно сумісний
<b>Ємність батареї</b>	LiPo батарея 430mAh
<b>Тривалість роботи батареї</b>	До 20 годин
<b>Вимірювання імпедансу</b>	Якість контакту в реальному часі за допомогою запатентованої системи
<b>Датчик руху</b>	ICM-20948, акселерометр 3-осьовий +/- 4g, гіроскоп, магнітометр 3-осьовий +/- 4900 uTesla
<b>Частота вибірки руху</b>	32 Гц
<b>Роздільна здатність руху</b>	16-біт
<b>Матеріал сенсорів</b>	Напівсухий полімер

А



Б



Рисунок 2.7. А - Робоча станція, портативний неінвазивний електроенцефалограф Emotiv Insight 2.0; Б – екран експериментальної сесії, тест Струпа (типова спонукка тесту нейропластичності та швидкого прийняття рішень, дозволяє виявити ряд когнітивних упереджень та тренувати контроль на початковому рівні).

Когнітивні метрики EmotivPro та EmotivLABS базуються на великих обсягах даних ЕЕГ, зібраних під час контрольованих експериментів. Метрики розроблені з використанням машинного навчання та алгоритмів штучного інтелекту, що дозволяє точно ідентифікувати стан мозку в реальному часі.

Таблиця 2.7. Когнітивні метрики Emotiv (метод та показники)

Метрика	Опис прояву (хвилі, причини)	Метод вимірювання	Використовувані смуги
Увага	<b>Прояв:</b> активна мислиннева діяльність і	Нейро-мережі для обробки та	Бета-хвилі (13-30 Гц)

	<p>концентрація.</p> <p><b>Причини:</b></p> <p>Сфокусованість на завданні, ментальні завдання.</p>	<p>аналізу даних</p> <p>ЕЕГ</p>	
Розслабленість	<p><b>Прояв:</b> відображає стан спокою і розслабленості.</p> <p><b>Причини:</b></p> <p>Медитація, глибоке дихання, відпочинок.</p>	<p>Спектральний аналіз та потенціали, пов'язані з подією (ERP)</p>	<p>Альфа-хвилі (8-12 Гц)</p>
Залученість	<p><b>Прояв:</b> Високий рівень когнітивної активності.</p> <p><b>Причини:</b></p> <p>Високоактивне мислення, вирішення складних завдань.</p>	<p>Нейро-мережі та спектральний аналіз</p>	<p>Гамма-хвилі (30-100 Гц)</p>
Стрес	<p><b>Прояв:</b> Високий рівень стресу може виникати через складність завдання або страх перед негативними наслідками.</p> <p><b>Причини:</b> Тривога, напруження, емоційний дискомфорт.</p>	<p>Потенціали, пов'язані з подією (ERP) та спектральний аналіз</p>	<p>Підвищення бета-хвиль, зменшення альфа-хвиль</p>

Мотивація	<b>Прояв:</b> активна участь у завданні та мотивацію. <b>Причини:</b> Внутрішня мотивація, зацікавленість у завданні.	Нейро-мережі для обробки даних ЕЕГ	Бета-хвилі (13-30 Гц), Гамма-хвилі (30-100 Гц)
Пам'ять	<b>Прояв:</b> процеси запам'ятовування та відтворення інформації. <b>Причини:</b> Згадування подій, навчання, відтворення інформації.	Нейро-мережі та спектральний аналіз	Тета-хвилі (4-7 Гц)

Для оцінки когнітивних метрик використовується інтегральне значення сигналів за певний проміжок часу, а також враховується стимул як зовнішній фактор, що впливає на когнітивний стан:

$$Metric_{cog}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N (Signal_{el}(i) \cdot f(Stimul(i)))}{T} \cdot 100, \quad (2.14)$$

де  $Metric_{cog}(t)$  - значення метрики у момент часу  $t$ ;

$\sum_{i=1}^N (Signal_{el}(i) \cdot f(Stimul(i)))$  - сума сигналів з урахуванням впливу стимулу за проміжок часу  $T$ ;  $f(Stimul(i))$  - функція, що описує вплив стимулу на сигнал у момент часу  $t$  (функція може бути залежна від типу стимулу та його інтенсивності);  $N$  - кількість вимірювань;  $T$  - загальний час вимірювання. Таким

чином отримуємо значення когнітивних метрик за результатом сесії у відсотках або балах. [58] (Рисунок 2.12)

Основні компоненти оцінювання когнітивних показників у нейроосвітній стратегії:

1. Контроль уваги (Альфа-смути ЕЕГ) Сигнал уваги можна визначати за амплітудою у спектрі альфа-хвиль:

$$\text{Attention Level(AL)} = \text{Amplitude}\alpha = \max(|S(f)|), f \in [8,12] \text{ Гц} \quad (2.15)$$

2. Покращення пам'яті (Бета-хвилі) корелює з рівнем активації бета-ритмів:

$$\text{Memory Improvement(MI)} = \text{PSD}\beta = \frac{1}{N} \sum_{f=13}^{30} |X(f)|^2, \quad (2.16)$$

3. Зниження стресу (P300 потенціал) можна визначити за амплітудою P300:

$$\text{Stress Reducing(SR)} = \text{P300}_{\text{ampl.}} = \max(\text{ERP}_{300\text{ms}}) - \text{baseline}. \quad (2.17)$$

Менші амплітуди відповідають більшій релаксації.

4. Комплексний стимул та ефективність:

$$\text{Overall Improvement(OI)} = w_1 \cdot \text{AL} + w_2 \cdot \text{MI} + w_3 \cdot \text{SR} \quad (2.18)$$

де  $w_1, w_2, w_3$  — вагові коефіцієнти, що відповідають важливості кожного параметра.

Лістинг 2.5. Псевдокод зменшення впливу когнітивних упереджень за когнітивними показниками

```
python
# Ініціалізація параметрів
weights = {'attention': 0.3, 'memory': 0.4, 'stress': 0.3} # Вагові коефіцієнти
time_span = {'attention': 8, 'memory': 12, 'stress': 6} # Тривалість тренувань
у тижнях
thresholds = {'attention': 0.25, 'memory': 0.2, 'stress': 0.4} # Рівень
покращення

# Функція для обчислення ефективності
def calculate_effectiveness(alpha_power, beta_power, p300_amplitude,
baseline_p300):
```

```
attention_level = 1 - (alpha_power / (alpha_power + beta_power +
p300_amplitude))
memory_improvement = beta_power * 0.25 # Приклад формули
stress_reduction = baseline_p300 - p300_amplitude

# Комплексне оцінювання
overall_improvement = (weights['attention'] * attention_level +
                        weights['memory'] * memory_improvement +
                        weights['stress'] * stress_reduction)
return overall_improvement

# Дані для тренувань
alpha_power = 0.5
beta_power = 0.3
p300_amplitude = 1.2
baseline_p300 = 1.5

# Запуск алгоритму
result = calculate_effectiveness(alpha_power, beta_power, p300_amplitude,
baseline_p300)
print(f'Overall Improvement: {result}')

# Моніторинг прогресу
if result > sum(thresholds.values()):
    print("Показники значно покращено!")
else:
    print("Потрібне додаткове тренування.")
```

### 2.3. Метод виділення вразливого показника

Експеримент у нейро-комп'ютерних середовищах включає кілька основних складових: спонуки, затримки та реакції.

Спонуки можуть бути візуальними, аудіальними або тактильними. Візуальні стимули можуть тривати від 100 мс до 500 мс, аудіальні - від 200 мс до 1 с, а тактильні - від 50 мс до 300 мс.

Затримки вимірюються з використанням спеціальних алгоритмів та технічних засобів, які фіксують час від пред'явлення спонуки до відповіді. У НКІ експериментах затримки можуть варіюватися від 100 мс до 1 с.

Реакції включають поведінкові відповіді (натискання на кнопку), фізіологічні зміни (частота серцевих скорочень, електрична активність мозку) та мовні реакції. Точність вимірювань забезпечується за допомогою високоточних сенсорів та програмного забезпечення.

Процес експерименту складається з налаштування обладнання, визначення параметрів стимулів, пред'явлення стимулів, фіксації реакцій і аналізу затримок. Зібрані дані аналізуються для подальших досліджень та вдосконалення нейро-комп'ютерних технологій.

Процес прийняття рішень  $D$  представляється за п'ятьма:

$$D = \langle S, R, RT, Acc., PM \rangle. \quad (2.19)$$

де  $S$  - спонукка,  $R$  - відповідь,  $RT$  - час відповіді,  $Acc.$  - точність,  $PM$  – когнітивні показники.

Спонуки повинні розподілені за спеціальними колекціями і відповіді повинні мати зв'язок із ними в базі даних. Стадія вирішення проблеми може бути представлена у вигляді складного миттєвого сприйняття та прийняття рішень або процесу формування суджень під час стимуляції з відповіддю за результатом:

- часові показники і затримки:

$$t_S = t_P + t_{Ac} + t_D + t_R \quad (2.20)$$

- множина відповідей:

$$R \langle r_1, r_2, \dots, r_n \rangle, \quad (2.21)$$

$$\text{якщо } R = r_i, \text{ то } Acc. + + \text{ інакше } -. \quad (2.22)$$

$$r_i \in R_a, \quad (2.23)$$

де  $R$  - набір відповідей, а  $R_a$  - підмножина правильних відповідей.

Когнітивні упередження - це відхилення, які можна виявити як чотирьох

$$CB = \langle R, RT, Acc., PM \rangle \quad (2.24)$$

Також когнітивні упередження можуть бути представлені як

$$CB = \langle CB_r, CB_{RT}, CB_{Acc.}, CB_{PM} \rangle \quad (2.25)$$

з власними індексами [60, 61].

Узагальнений показник когнітивних упереджень виражається як зв'язок між чотирма групами упереджень (Таблиця 2.8).

Таблиця 2.8 Варіанти груп когнітивних упереджень

Тип упередження Опис	Приклад	Причини	Вияв
<b>Сприймання</b> Неадекватне сприйняття спонуки	“R” для зеленого “red” у тесті Струпа Ілюзія кластерів	Обмежений час, неправильна пріоритезація завдань <sup>12</sup>	Асоціативні варіанти, підвищення залученості, втрата контролю уваги
<b>Уваги</b> Відхилення результатів або помилки через	Зосередженість на формі замість якості	Втома, зусилля, мозкова інерція <sup>13</sup>	Відсутність або невчасність відповіді,

<sup>12</sup> Для тренувань нейропластичності кожен учасник повинен мати правильні інструкції. Ідеєю когнітивної організації будь-якого розумного середовища є стандартний ланцюжок дій із визначеним пріоритетом. Для тесту Струпа це дві непріоритетизовані умови. А саме: відповіддю є натискання клавіші зі знаком кольору слова стимулу в діапазоні RT або швидше. У ході виконання завдання мозок учасників діє швидко і правильно, відчуває час і розпізнає колір. При цьому семантика (слово) запам'ятовується швидше, ніж колір (проблема свідомості). Учасник повинен утримуватися від натискання клавіші, пов'язаної зі значенням слова, і орієнтуватися на колір [33,49,52,68].

<sup>13</sup> Ефект збереження стану в мінливих умовах з повторюваними діями, конкуруючою мережевою активністю мозку [27,38,47,62].

недостатню увагу або зосередженість			некоректність, втрата контролю уваги, низька залученість
<b>Пам'яті</b> Неадекватність або відсутність результатів	Втрата деталей, некоректні підрахунки чи порівняння вибірок	Втома, зусилля, потреба відпочити, несвідомі цикли, недостатньо часу	Відсутність відповіді за відведений час Неправильна відповідь Низька залученість
<b>Мотиваційні</b> Втрата контролю або потоку, апатія, нудьга	Швидке неемоційне прийняття будь-яких рішень, натискання на клавіші чи вибір без занурення в суть проблеми і виконання	Втрата потоку, депресія, стрес	Відсутність або некоректність відповіді за відведений час Учасник не пам'ятає ситуації Можливий високий когнітивний стрес Низька залученість Низька зосередженість

При вивченні стану потоку за допомогою ЕЕГ враховується кілька ментальних станів, таких як контроль, розслаблення, нудьга, апатія, хвилювання, занепокоєння та збудження, відповідно до рівнів виклику та навичок. Використовується машинне навчання для класифікації станів потоку, і виділяються електроди.

Модель вивчення стану потоку базується на схемі ментальних станів у координатах рівнів виклику та навичок. Вона може бути представлена наступним рівнянням:

$$F(t) = \alpha \cdot E(t) + \beta \cdot C(t) + \gamma \cdot B(t) + \epsilon(t) \quad (2.26)$$

де  $F(t)$  — стан потоку в момент часу  $t$ ,  $E(t)$  — рівень виклику,  $C(t)$  — рівень навичок,  $B(t)$  — база когнітивних та емоційних показників (контроль, розслаблення, нудьга, апатія, хвилювання, занепокоєння, збудження),  $\epsilon(t)$  — шум або помилка вимірювання в момент часу  $t$ ,  $\alpha, \beta, \gamma$  — вагові коефіцієнти.

Рівні виклику  $E(t)$  та навичок  $C(t)$  можуть бути класифіковані за пороговими значеннями:  $0 < E, C(t) \leq 0.33$  (низький),  $0.34 < E, C(t) \leq 0.66$  (середній),  $0.67 < E, C(t) \leq 1.0$  (високий).

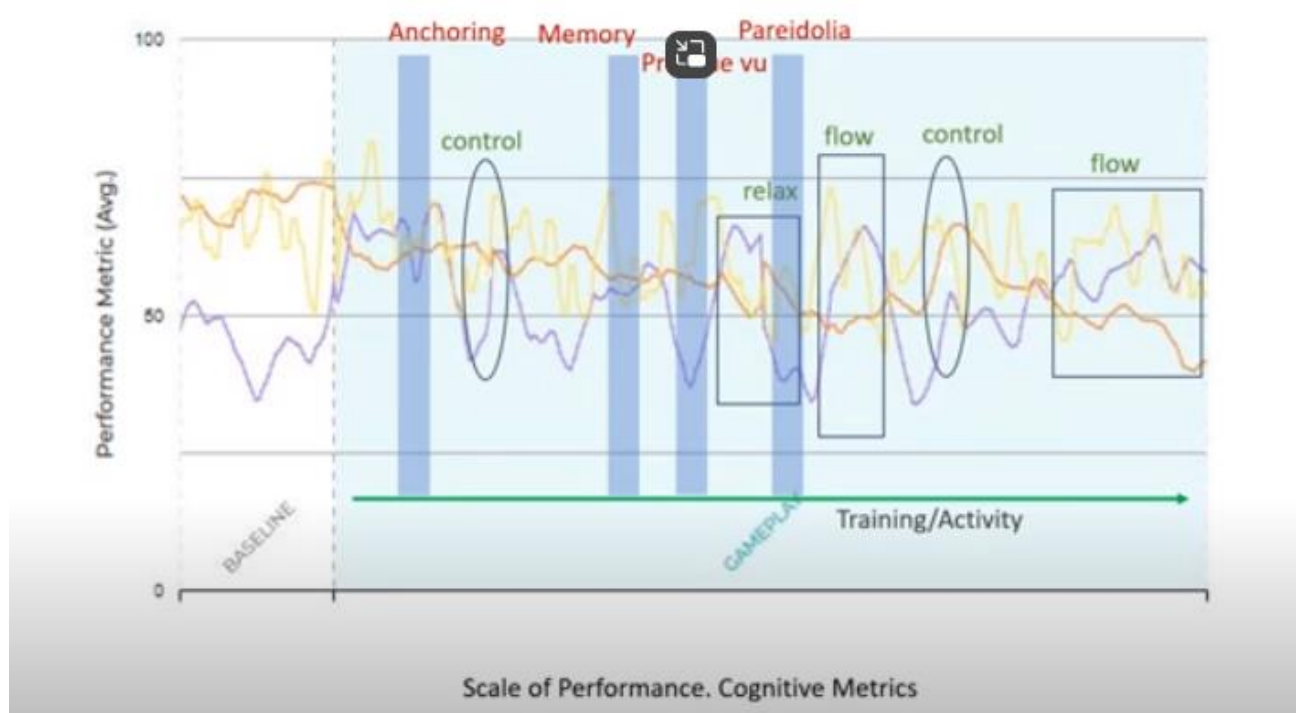


Рисунок 2.8. Приклад аналізу перформограми із врахуванням емоційного стану

Стан потоку можна оцінити в порівнянні із іншими емоційними показниками в ході тренувальних сесій.

#### Лістинг 2.6 Псевдокод аналізу стану потоку

```
python
import numpy as np
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.metrics import classification_report

# Ініціалізація
def initialize_eeg():
```

```

# Ініціалізація пристрою ЕЕГ (наприклад, Emotiv Insight)
setup_eeg_device()
calibrate_eeg_device()

# Завантаження даних про учасників та завдань
def load_participants_data():
    # Завантажити дані про учасників
    return participants_data

def load_tasks():
    # Завантажити дані про завдання
    return tasks_data

# Запис ЕЕГ у спокійному стані
def record_eeg(participant, state):
    start_recording()
    wait(30) # секунд
    stop_recording()
    store_eeg_data(participant, state)

# Оцінка рівнів виклику та навичок
def assess_challenge_skill_level(participant):
    return challenge_skill_levels

# Виконання завдання
def display_task(task, participant):
    show_task(task, participant)

def measure_cognitive_emotional_states(participant):
    return cognitive_emotional_metrics

def assess_challenge(task, participant):
    return challenge_level

def assess_skill(task, participant):
    return skill_level

def calculate_flow_state(challenge_level, skill_level, cognitive_emotional_metrics):
    alpha = 0.5
    beta = 0.3
    gamma = 0.2
    noise = np.random.normal(0, 0.1)
    flow_state = alpha * challenge_level + beta * skill_level + gamma *
cognitive_emotional_metrics + noise
    return flow_state

def update_participant_data(participant, flow_state):
    # Оновлення даних про учасника
    pass

def analyze_overall_data(participants):
    # Аналіз загальних даних
    return analysis_results

```

```
def output_results(analysis_results):
    print(analysis_results)

# Основна функція
def main():
    initialize_eeg()
    participants = load_participants_data()
    tasks = load_tasks()

    for participant in participants:
        record_eeg(participant, "resting_state")
        challenge_skill_levels = assess_challenge_skill_level(participant)

        for task in tasks:
            display_task(task, participant)
            record_eeg(participant, "task_execution")

            cognitive_emotional_metrics = measure_cognitive_emotional_states(participant)
            challenge_level = assess_challenge(task, participant)
            skill_level = assess_skill(task, participant)

            flow_state = calculate_flow_state(challenge_level, skill_level,
cognitive_emotional_metrics)
            update_participant_data(participant, flow_state)

        analysis_results = analyze_overall_data(participants)
        output_results(analysis_results)

if __name__ == "__main__":
    main()
```

## 2.4. Опис та порівняння запропонованих моделей

Потенціал, пов'язаний з подією (англ. event-related potential, ERP) – це електрофізіологічні сигнали, що відображають реакцію мозку на певні події або спонуки. Вони є важливим інструментом у дослідженні когнітивних процесів та роботи центральної нервової системи. Амплітуда ERP вимірює силу електричного потенціалу. Висока амплітуда може вказувати на сильну реакцію мозку. Латентність визначає час між появою стимулу і появою ERP. Час латентності може вказувати на швидкість обробки інформації мозком. Форма та структура хвиль ERP (морфологія) допомагає визначити тип когнітивної діяльності. Локалізація визначає, в яких областях мозку відбуваються зміни електричного потенціалу. ERP можуть використовуватися для дослідження різних аспектів когнітивних процесів, таких як увага, пам'ять та емоції.

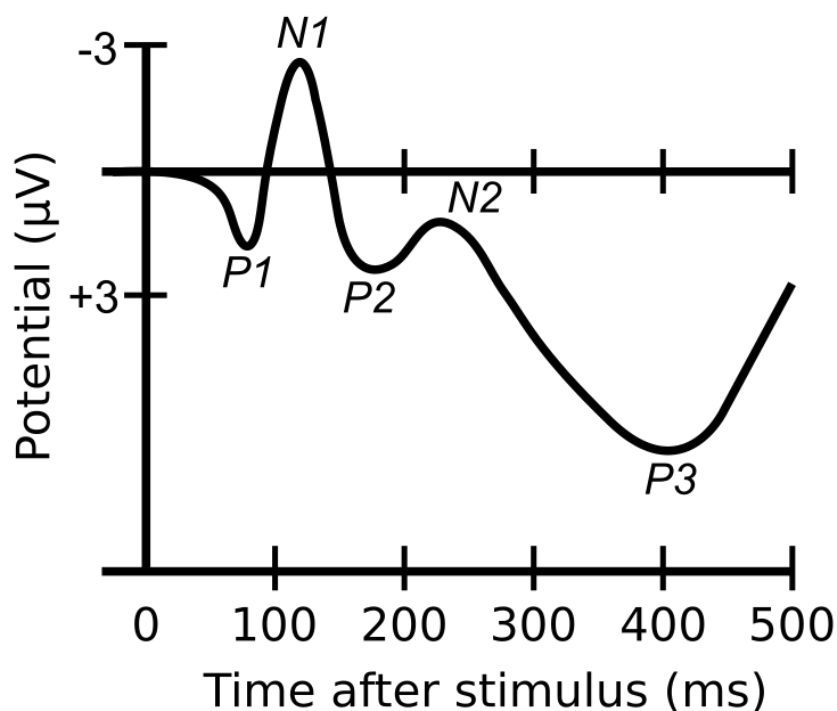


Рисунок 2.9. Сигнал, що показує кілька компонентів ERP, зокрема N100 (з позначкою N1) і P300 (з позначкою P3). ERP будується з негативними напругами вгору, що є загальною, але не універсальною практикою в дослідженнях ERP

## Математична модель розпізнавання когнітивних упереджень на основі машинного навчання (за ERP).

Математична модель розпізнавання когнітивних упереджень базується на аналізі електроенцефалограми (ЕЕГ) та подійних потенціалів (ERP), що реєструються під час виконання завдань прийняття рішень. Завданням є вибір найкращої опції за умов неповних даних, при цьому правильними вважаються рішення, прийняті на основі зважування всіх варіантів та імовірності наслідків. Серед аналізованих параметрів — затримка ERP, час відповіді, інтенсивність сигналів різних частот (альфа, бета, тета), а також характеристики нервової активності, що відображають суб'єктивний фактор впливу.

Процес моделювання включає попередню обробку ЕЕГ-сигналів для усунення шумів, формування ознак, таких як латентність  $t_{latency}$  і амплітуда ERP-компонентів  $A_{ERP}$ , а також спектральна потужність мозкових ритмів  $P(f)$  для різних частот  $f$ . Наприклад, підвищена активність бета-ритмів  $P_{beta}$  може вказувати на стрес, тоді як домінування альфа-ритмів  $P_{alpha}$  — на стан спокою.

Для автоматичного виділення когнітивних упереджень використовується метод машинного навчання, що включає етапи:

1. Збір ознак із сигналів:

$$X = \{t_{lat}, A_{erp}, P(f)\} \{t_{lat}, f \in \{\alpha, \beta, \theta, \delta\}\}.$$

2. Навчання моделі на основі тренувальних даних із використанням алгоритмів, таких як Random Forest або SVM, де критерій втрат визначається як:

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2,$$

де  $y_i$  — істинні результати, а  $\hat{y}$  — прогнозовані.

3. Класифікація рішень як правильних чи неправильних на основі точності:

$$Acc. = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN},$$

де TP і TN — кількість правильних рішень, а FP і FN — кількість помилкових.

У межах цього підходу рішення поділяються на чотири основні типи: правильні позитивні (True Positive, TP), правильні негативні (True Negative, TN), помилкові позитивні (False Positive, FP) та помилкові негативні (False Negative, FN). Такий розподіл дозволяє оцінити здатність системи класифікувати дані відповідно до фактичних результатів.

Правильні позитивні рішення (TP) визначають ситуації, коли модель класифікує правильне рішення як позитивне, тобто успішно ідентифікує оптимальний варіант. Наприклад, суб'єкт робить вдалий вибір, і модель підтверджує його як правильний. Правильні негативні рішення (TN) відповідають ситуаціям, коли модель правильно класифікує неправильне рішення як негативне. Це означає, що вибір суб'єкта не відповідає оптимальному варіанту, і модель вірно це визначає.

Однак існують ситуації помилкових класифікацій. Помилкові позитивні рішення (FP) виникають тоді, коли модель класифікує неправильний вибір як правильний. Це може бути результатом недостатньої обробки ознак або спотворення даних. Помилкові негативні рішення (FN) є випадками, коли правильне рішення класифікується як негативне через недоліки у врахуванні релевантних факторів.

Суб'єктивний фактор визначається як значні розбіжності між типово нормальною та нетиповою нервовою активністю. Наприклад, аномально велика затримка  $t_{lat} > t_{norm}$  або незвичні піки амплітуди  $A_{erp}$  можуть свідчити про когнітивне упередження.

Таким чином, модель інтегрує нейрофізіологічні дані та алгоритми машинного навчання для виявлення когнітивних упереджень, враховуючи вплив

когнітивних упереджень на прийняття рішень. Це дозволяє проводити тонкий аналіз якості рішень навіть у складних багатофакторних умовах [63,64].

Для розпізнавання когнітивних упереджень використовується нечітка логіка, що дозволяє опрацьовувати невизначеність і варіативність у даних. Функції належності визначають ступінь відповідності кожного параметра встановленим характеристикам. Наприклад:

Для затримки ERP (латентність) визначається функція належності:

$$\mu(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t < t_{low} \\ \frac{t_{high} - t}{t_{high} - t_{low}}, & \text{якщо } t_{low} \leq t \leq t_{high} \\ 0, & \text{якщо } t > t_{high} \end{cases}$$

Тут  $t_{high}$  і  $t_{low}$  — порогові значення, що визначають нормальну латентність.

Параметр	Опис	Порогові значення
<b>Затримка ERP</b>	Типова латентність під час аналізу подій	[200, 400] мс
	Вказує на упередження через нервову активність, якщо затримка перевищує норму	$t > 400$ мс
<b>Час відповіді</b>	Нормальний час реакції визначається в заданих межах	$T_{low} = 1000$ мс
	Пороговий інтервал реакції на задачі	$T_{high} = 3000$ мс
<b>Смуги частот</b>	Показник спокою: активність альфа-ритмів перевищує поріг	$P_{alpha} > P_{alpha}$
	Показник стресу: активність бета-ритмів перевищує поріг	$P_{beta} > P_{beta}$

Аналогічно для спектральної потужності ритмів:

$$\mu_{alpha}(P) = 1 - e^{-\lambda P},$$

де  $\lambda$  — коефіцієнт регулювання рівня потужності.

Калібрування моделі здійснюється в імітованих умовах. Завдання класифікуються за типом об'єкта. Це може бути програмний код, поняття, формула, значення, послідовність, графік, множина або кластер, закон, явище тощо. Першим стимулом є сформульоване завдання, яке транслюється за допомогою обраного способу (текст, графіка, озвучення, мультимедіа). Після завдання слідує варіанти відповідей. Суб'єкт повинен відповісти на правильний стимул натисканням пробілу. Інший тип завдань – відповідність, коли студент повинен співставити стимул з відповідною клавішею. Сюди ж належать завдання із кількома варіантами відповіді, які транслюються одночасно, а відповідні варіанти завдань пропонуються по чергові. Потрібно обрати відповідь, натиснувши клавішу. Можливість відповісти доступна протягом нормальної тривалості реакції (2000-3000 мс). Результати фіксуються і зберігаються. Після завершення тесту, студент переглядає завдання вдруге у тій же послідовності та аналізує свої відповіді. Учасник вказує чи відповів він правильно і яка відповідь є правильною, або пояснює чому не відповів або не встиг дати відповідь, а також надає інформацію про особливості прийняття рішення. За цими даними визначається тип когнітивного упередження та ступінь його дії за показниками часу та інтенсивності (тривалість дії у мілісекундах та зміна показників залученості або зосередженості). Далі відповіді порівнюються, визначається повна картина тесту.

Тест №	1	2	3	5	6	7	9
Опис	Code	Value	Graphics	Formal	Term	Value	Array
Тип	a	a	b	c	f	c	d
RT ms	889	675	753	659	821	743	650
Accur.	0,99	0,99	0	0,50	0,99	0,50	0,99

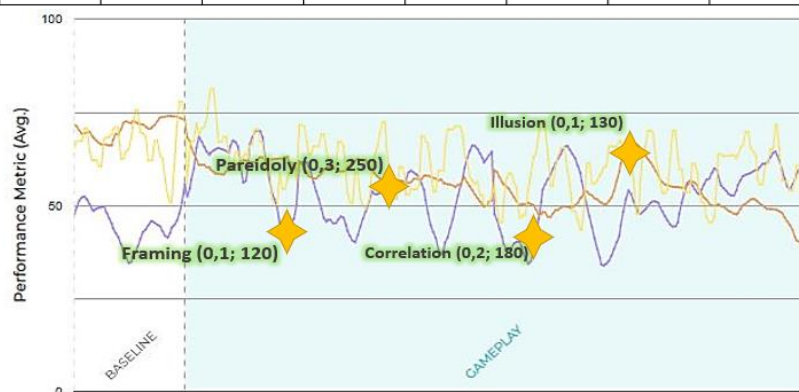


Рисунок 2.10. Модель визначення дії когнітивних упереджень за ступенем та тривалістю та маркування метрики перформансу.

Модель може бути впроваджена паралельно з іншими модулями середовища.

Лістинг 2.7. Псевдокод реалізації моделі за машинним навчанням

```
python
import numpy as np
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.decomposition import PCA
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.pipeline import make_pipeline

# Збір даних (приклад)
EEG_signals = np.random.rand(100, 256) # Генерація випадкових даних для
прикладу

# Підготовка даних
def preprocess_data(EEG_signals):
    # Фільтрація та нормалізація
    scaler = StandardScaler()
    EEG_signals_normalized = scaler.fit_transform(EEG_signals)

    return EEG_signals_normalized

# Екстракція фічей
def extract_features(EEG_signals_normalized):
    # Використання PCA для виділення фічей
    pca = PCA(n_components=10)
```

```
features = pca.fit_transform(EEG_signals_normalized)

return features

# Маркування даних (приклад)
labels = np.random.choice(['гнів', 'нудьга', 'спокій'], size=100) # Генерація
випадкових міток для прикладу

# Навчання моделі
def train_model(features, labels):
    # Використання SVM для класифікації
    model = make_pipeline(StandardScaler(), SVC(kernel='linear',
probability=True))
    model.fit(features, labels)

    return model

# Прогнозування станів
def predict_states(model, new_EEG_signals):
    # Підготовка нових даних
    new_EEG_signals_normalized = preprocess_data(new_EEG_signals)
    new_features = extract_features(new_EEG_signals_normalized)

    # Прогнозування
    predicted_states = model.predict(new_features)

    return predicted_states

# Основна частина коду
EEG_signals_normalized = preprocess_data(EEG_signals)
```

```

features = extract_features(EEG_signals_normalized)
model = train_model(features, labels)

# Нові дані для прогнозування
new_EEG_signals = np.random.rand(10, 256) # Генерація випадкових нових
даних для прикладу
predicted_states = predict_states(model, new_EEG_signals)

print(f"Прогнозовані стани: {predicted_states}")

```

**Математична модель прогнозування небажаного когнітивного стану за вразливими показниками.**

### **Вихідні дані**

1. **Когнітивні метрики (CM)** – показники уваги, залученості та стресу попередньо оцінені за ступенем (65-99 значний, 30-64 нормальний, 1-29 низький) та тривалістю (300-1200 мс)<sup>14</sup>.
2. **Суб'єктивні опитування (SO)** - результати суб'єктивних опитувань, оцінених за відповідністю небажаному стану (впевнений, згоден, не знаю)<sup>15</sup>.
3. **Результати прийнятих рішень (R)** - результати прийнятих рішень у процесі проектної діяльності<sup>16</sup>.

### **Формула прогнозування.**

<sup>14</sup> Шкали обираються на основі попереднього калібрування системи. Когнітивні метрики оцінюються за описаними алгоритмами аналізу смуг частот електроенцефалограми. Рекомендовано проводити калібрування за суб'єктивним та експертним аналізом, щоб уникнути дії мовного чинника та нейрограмотності [65,66].

<sup>15</sup> Спрощена універсальна шкала оцінок суб'єктивного аналізу на основі спогадів, враження і чесності відповіді. Окремо звіряються із експертними оцінками на етапі калібрування [67,68].

<sup>16</sup> Як правило беруться відповіді на конкретні спонуки та рішення для певних завдань. Перспективним є дослідження суджень у певних ситуаціях. Окремо варто виділити суб'єктивне оцінювання емоційного стану [69].

### 1) Функції нечітких наборів:

#### - когнітивні метрики (CM)

$$\mu_{CM} = \begin{cases} \text{значний,} & \text{якщо } CM > T_{high} \\ \text{нормальний,} & \text{якщо } T_{low} < CM \leq T_{high} \\ \text{низький,} & \text{якщо } CM \leq T_{low} \end{cases} \quad (2.27)$$

#### - суб'єктивні опитування (SO)

$$\mu_{SO} = \begin{cases} \text{впевнений,} & \text{якщо } SO > 0.75 \\ \text{згоден,} & \text{якщо } 0.5 < SO \leq 0.75 \\ \text{не знаю,} & \text{якщо } SO \leq 0.5 \end{cases} \quad (2.28)$$

### 2) Вага когнітивних метрик:

$$W_{CM} = w_{high} \cdot \mu_{high} + w_{norm} \cdot \mu_{norm} + w_{low} \cdot \mu_{low} \quad (2.29)$$

### 3) Вага суб'єктивних опитувань:

$$W_{CM} = w_{firm} \cdot \mu_{firm} + w_{agree} \cdot \mu_{agree} + w_{don't\ know} \cdot \mu_{don't\ know} \quad (2.30)$$

### 3. Гібридна модель прогнозування:

$$P_{NC} = \alpha \cdot W_{CM} + \beta \cdot W_{SO} + \gamma \cdot R \quad (2.31)$$

$P_{NC}$  ймовірність небажаного когнітивного стану,  $\alpha, \beta, \gamma$  - вагові коефіцієнти [70].

Лістинг 2.8 Псевдокод оцінювання підвищення точності зменшення впливу когнітивних упереджень

```

Частина 1: Обчислення ступеня впливу когнітивного упередження
python
import random
from math import exp

# Ініціалізація змінних
number_of_events = 100 # кількість подій
time_points = 500 # кількість точок часу
average_response_time = 300 # середній час відповіді (мс)
accuracy = 0.85 # правильність відповіді
subjective_bias_score = 0.7 # суб'єктивне оцінювання упереджень
expert_evaluation_score = 0.6 # експертне оцінювання упереджень

```

```

# Вагові коефіцієнти
alpha = 0.3
beta = 0.4
gamma = 0.2
delta = 0.1

# Створення масивів для зберігання сигналів
signals = [[0] * time_points for _ in range(number_of_events)]
average_signal = [0] * time_points
bias_types = ['availability_heuristic', 'confirmation_bias', 'anchoring_effect', 'halo_effect',
'self_serving_bias']

# Функція для моделювання сигналу
def signal_function(time, bias_type):
    if bias_type == 'availability_heuristic':
        return 10 * exp(-((time - 100) ** 2) / (2 * 20 ** 2)) * 1.15 # P300 збільшення на 15%
    elif bias_type == 'confirmation_bias':
        return 8 * exp(-((time - 200) ** 2) / (2 * 20 ** 2)) * 1.2 # P300 збільшення на 20%
    elif bias_type == 'anchoring_effect':
        return 12 * exp(-((time - 300) ** 2) / (2 * 20 ** 2)) * 1.25 # LPP збільшення на 25%
    elif bias_type == 'halo_effect':
        return 7 * exp(-((time - 400) ** 2) / (2 * 20 ** 2)) * 1.2 # P300 збільшення на 20%
    elif bias_type == 'self_serving_bias':
        return 9 * exp(-((time - 150) ** 2) / (2 * 20 ** 2)) * 1.1 # P200 збільшення на 10%
    else:
        return 10 * exp(-((time - 100) ** 2) / (2 * 20 ** 2))

# Функція для генерування випадкових значень за гаусівським розподілом
def random_gaussian(mean, std_dev):
    return mean + std_dev * random.gauss(0, 1)

# Заповнення масиву сигналів випадковими значеннями (для прикладу)
for event in range(number_of_events):
    bias_type = random.choice(bias_types)
    for time in range(time_points):
        signals[event][time] = random_gaussian(mean=0, std_dev=1) # шум
        if event % 10 == 0: # додавання сигналу для деяких подій
            signals[event][time] += signal_function(time, bias_type) # функція сигналу

# Обчислення середнього ERP сигналу
for time in range(time_points):
    sum_signals = 0
    for event in range(number_of_events):
        sum_signals += signals[event][time]
    average_signal[time] = sum_signals / number_of_events

# Обчислення ризику когнітивних упереджень
risk = (alpha * average_response_time + beta * accuracy +
        gamma * subjective_bias_score + delta * expert_evaluation_score)

# Виведення середнього ERP сигналу та ризику
print("Середній ERP сигнал:", average_signal)

```

```

print("Ризик когнітивних упереджень:", risk)
Частина 2: Навчання нейронної мережі для прогнозування ризику когнітивного упередження за EEG
python
import numpy as np
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.neural_network import MLPClassifier

# Генерація випадкових даних для навчання (для прикладу)
eeg_data = np.random.rand(number_of_events, time_points)
labels = np.random.randint(0, 2, number_of_events) # 0 - без упередження, 1 - з упередженням

# Виділити дані навчальної та тестової вибірок
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(eeg_data, labels, test_size=0.2, random_state=42)

# Створення та навчання нейронної мережі
mlp = MLPClassifier(hidden_layer_sizes=(100,), max_iter=500, alpha=0.0001, solver='adam', random_state=42)
mlp.fit(X_train, y_train)

# Оцінка точності моделі
accuracy = mlp.score(X_test, y_test)
print("Точність моделі прогнозування ризику когнітивного упередження:", accuracy)

# Прогнозування на нових даних
new_eeg_data = np.random.rand(1, time_points)
predicted_risk = mlp.predict(new_eeg_data)
print("Прогнозований ризик когнітивного упередження (0 - без упередження, 1 - з упередженням):", predicted_risk)

```

	Performance Metrics						Results		Cognitive Biases				
	engagem	exitemen	attention	cognitive	relaxation	focus	accuracy	RT	CB a	CB mot	CB mem	CB p	Er
engagem	1	-0,0559	0,644918	0,082158	-0,12587	0,205005	0,350854	0,211451	-0,03871	-0,0511	0,389968	0,183497	-0,43355
exitemen	-0,0559	1	-0,2507	0,578352	0,108253	-0,6758	-0,45661	-0,20336	0,653532	0,752051	0,425803	0,583194	0,189509
attention	0,644918	-0,2507	1	0,009165	-0,42666	0,364133	0,577791	0,744991	-0,49826	-0,55215	-0,15241	-0,24669	-0,7226
cog. stress	0,082158	0,578352	0,009165	1	-0,32409	-0,81771	-0,44368	0,324871	0,651685	0,681013	0,202724	0,7483	0,18917
relaxation	-0,12587	0,108253	-0,42666	-0,32409	1	0,104595	-0,0719	-0,76956	0,105802	0,144866	-0,00866	-0,05436	-0,02614
focus	0,205005	-0,6758	0,364133	-0,81771	0,104595	1	0,707731	-0,00551	-0,77941	-0,75762	-0,4301	-0,7526	-0,48703
accuracy	0,350854	-0,45661	0,577791	-0,44368	-0,0719	0,707731	1	0,156902	-0,83693	-0,75545	-0,57058	-0,74973	-0,87199
RT	0,211451	-0,20336	0,744991	0,324871	-0,76956	-0,00551	0,156902	1	-0,22234	-0,34182	-0,19462	-0,01628	-0,28198
CB a	-0,03871	0,653532	-0,49826	0,651685	0,105802	-0,77941	-0,83693	-0,22234	1	0,93214	0,603255	0,952479	0,701777
CB mot	-0,0511	0,752051	-0,55215	0,681013	0,144866	-0,75762	-0,75545	-0,34182	0,93214	1	0,560034	0,867028	0,60515
CB mem	0,389968	0,425803	-0,15241	0,202724	-0,00866	-0,4301	-0,57058	-0,19462	0,603255	0,560034	1	0,628384	0,481457
CB p	0,183497	0,583194	-0,24669	0,7483	-0,05436	-0,7526	-0,74973	-0,01628	0,952479	0,867028	0,628384	1	0,589062
Er	-0,43355	0,189509	-0,7226	0,18917	-0,02614	-0,48703	-0,87199	-0,28198	0,701777	0,60515	0,481457	0,589062	1

Рисунок 2.11. Матриця кореляції показників тренування та дії когнітивних упереджень за індивідуальними результатами. Результати навчання оцінено за показниками часу реакції (*RT*), точності (асурасу) та відсотка помилковості

(Er). Когнітивні упередження класифіковано за групами: упередження уваги ( $CB_a$ ), мотивації ( $CB_{mot}$ ), пам'яті ( $CB_{mem}$ ) та сприйняття ( $CB_p$ )

Моделі можна порівняти за вибраними критеріями, враховуючи можливості, обмеження, особливості експериментів (Таблиця 2.9).

Таблиця 2.9. Порівняння показників моделей

Критерії:	Модель 1	Модель 2
Точність оцінювання конкретного когнітивного упередження	65-82%	45-78%
Точність виявлення та/або оцінювання стану когнітивного упередження (в тому числі за інтенсивністю та тривалістю)	72-85%	78-87%
Точність ідентифікації одночасного впливу кількох когнітивних упереджень	10-45%	38-72%
Ймовірність помилки	0,2-0,045	0,1-0,015
Врахування суб'єктивного чинника	0-50%	70%
Узгодженість	0,65-0,78	0,72-0,82
Час	1	1,3
Коректність оцінювання когнітивних метрик	65-84%	72-85%

Для підготовки експертів використовуються додаткові опитувальники, що визначають рівень їхнього володіння контролем свідомості та опору когнітивним упередженням. (Додаток Г)

## 2.5. Оцінювання достовірності результатів

Для досягнення високої точності у вивченні когнітивних метрик, розпізнавання емоцій та аналітичних здібностей важливо враховувати складність опису та багатофакторний вплив на якість результатів. Підвищити точність та ефективність можна за допомогою додаткового оцінювання об'єктивності технологій чи стратегій, використовуючи методи статистичного та експертного аналізу. При впровадженні нових компонентів до технології варто оцінювати їхній вплив на достовірність, валідність і точність результатів. Порівняння тестування попередніх систем із новими, а також включення показника узгодженості допоможуть досягти цієї мети.

Об'єктивність психометричних досліджень у нейроосвітніх середовищах суттєво підвищує якість розробки та впровадження технологій. Згідно з роботою [71], для оцінки об'єктивності застосовуються такі методи, як р-величина, критерій Стюдента, регресійний і факторний аналіз, а також аналіз незалежних даних. Попередні дослідження [73-74] використовували експертні оцінки та кореляцію Пірсона, а метод якісної оцінки показників знайшов застосування у вивченні емоцій та когнітивних метрик [75-76]. Загалом, точність досліджень залишається достатньою, що пов'язано з різними вимогами до оцінки автоматичних дій і свідомих когнітивних станів.

Основними показниками об'єктивності є надійність, повторюваність, валідність та узгодженість. Для дослідження об'єктивності аналізуються дані тестових і навчальних сесій, які стосуються розвитку нейрограмотності в умовах професійної діяльності. Враховуються особливості завдань, мотивації учасників, когнітивні метрики (аналіз ЕЕГ), експертні оцінки та відповіді на завдання. Вразливими когнітивними показниками є увага, пам'ять, мотивація та сприйняття, які аналізуються у координатах: залученість, зосередженість, пам'ять, когнітивний стрес тощо.

Завдання умовно поділяються на три групи: 1) типові тренувальні тести (тест Струпа, аналіз нейропластичності, нейрограмотності); 2) підготовчі

завдання, які розвивають утримання уваги та контроль стресу; 3) професійні завдання, основані на реальному досвіді. Тестування моделі проходить у реальних чи симульованих умовах прийняття рішень у контрольних групах.

Щоб підвищити об'єктивність досліджень, варто врахувати рекомендовані обмеження, такі як подвійне сліпе тестування, зміна обстановки експерименту (середовище, склад груп, дизайн інтерфейсу), розташування учасників та обмеження обміну інформацією. Це забезпечить точність та надійність отриманих результатів (Див. Додаток Б, В).

Групи, які залучені до дослідження, працюють за двома різними підходами. Одні використовують класичну методику нейроосвітньої стратегії із застосуванням машинного навчання для аналізу та визначення різних типів когнітивних упереджень. Інші беруть участь у тестуванні нової системи, яка відстежує вплив когнітивних факторів за вразливими показниками. Для підведення підсумків враховуються результати ретроспективного суб'єктивного аналізу.

У першій групі сторонні інформаційні впливи зводяться до мінімуму, що сприяє кращому зосередженню уваги. Для другої групи, яка функціонує в реальних умовах, виділяється контрольна група, щоб дослідити вплив зовнішньої інформації. Ці аспекти обов'язково враховуються під час аналізу результатів [77, 78].

Оцінка точності досліджень базується на значенні ймовірності  $p$ , яке використовується для визначення базової точності та подальшої валідації результатів.

Цей підхід знаходить застосування в конкретних тестах. Наприклад, тестування типів когнітивних упереджень (зокрема, відкидання базового відсотка або ілюзорної кореляції) в завданнях, пов'язаних з інвестуванням у акції. У таких випадках аналізується процес прийняття рішень учасниками, які обирають між двома інвестиційними варіантами, орієнтуючись на показники курсу, прогнозу та ризику.

Алгоритм дослідження:

1. Мета: виявити наявність відкидання базового відсотка та ілюзорної кореляції при прийнятті рішень в інвестиціях.
2. Вибірка: група суб'єктів з різними рівнями досвіду у фінансових питаннях.
3. Завдання: ознайомлення з даними про курс, прогноз та оцінку ризиків на ринку акцій, вибір альтернатив учасники повинні вибрати між двома варіантами.
4. Проведення експерименту: провести експеримент, записуючи вибір учасників та їх обґрунтування, зауважуючи вплив когнітивних упереджень та збереження контролю.
5. Аналіз даних: оцінити ступінь упередження відкидання базового відсотка або ілюзорної кореляції.
6. Обчислити р-величину та ризик помилок 1 та 2 роду.
7. Повторити експеримент у визначених групах та оцінити об'єктивність методом експертних оцінок за визначеними показниками.

Вихідна нульова гіпотеза: Немає значимої різниці у прийнятті рішень між групами.

#### Лістинг 2.9. Псевдокод для обчислення t-критерію та р-значення

```
plaintext
function calculateTTest(X1, X2, s1, s2, n1, n2):
    t_value = (mean(X1) - mean(X2)) / sqrt((s1^2 / n1) + (s2^2 / n2))
    p_value = calculatePValue(t_value, df=n1+n2-2)
    return t_value, p_value
function calculatePValue(t, df):
    // для обчислення р-значення можна використовувати відповідну
    статистичну бібліотеку
    p_value = some_statistical_library.t_to_p(t, df)
    return p_value
```

Узгодженість дослідження може визначатися як за допомогою коефіцієнта кореляції Метьюза (МСС), так і за коефіцієнтом Кронбаха. МСС є статистичним показником, що використовується для оцінювання якості двійкових класифікацій у задачах машинного навчання та статистичного аналізу. Він враховує всі аспекти класифікації: справжні позитивні та негативні результати, а також хибні спрацьовування та помилкові негативи. Завдяки цьому МСС забезпечує точну і збалансовану оцінку якості класифікації навіть у випадках, коли розміри класів суттєво різняться між собою.

$$MCC = \frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FN)}} \quad (2.32)$$

У даному випадку раціонально використовувати багатокласове представлення, яке узагальнено називають  $R_K$ -статистикою (для  $K$  різних класів),  $K \times K$  утворюють матрицю невідповідностей  $C$ . Тоді

$$MCC = \frac{cs - \vec{t} \cdot \vec{p}}{\sqrt{s^2 - \vec{p} \cdot \vec{p}} \sqrt{s^2 - \vec{t} \cdot \vec{t}}}, \quad (2.33)$$

де  $t$  – кількість реальних появ  $k$ -класу;

$p$  – кількість передбачуваних появ класу  $k$ ;

$c$  – кількість коректно передбачених прикладів класу  $k$ ;

$s$  – вся кількість прикладів класу  $k$  у дослідженні [79]

Лістинг 2.10. Псевдокод визначення коефіцієнта кореляції (Метьюз, багатокласовий варіант)

```
plaintext
function calculateMCC(confusion_matrix):
    n = len(confusion_matrix) # Кількість класів

    # Обчислення чисельника та знаменника
    numerator = 0
    denominator_left = 0
    denominator_right = 0
```

```

for i in range(n):
    for j in range(n):
        for k in range(n):
            if i != j:
                numerator += confusion_matrix[i][i] * confusion_matrix[j][j] -
confusion_matrix[i][j] * confusion_matrix[j][i]

for i in range(n):
    sum_row_i = sum(confusion_matrix[i])
    sum_col_i = sum(confusion_matrix[j][i] for j in range(n))
    denominator_left += sum_row_i * sum_col_i
    denominator_right += (sum(confusion_matrix[i][i] for i in range(n)) *
sum_row_i) - sum(confusion_matrix[i][i] for i in range(n))**2

denominator = sqrt(denominator_left * denominator_right)

if denominator == 0:
    return 0 # Уникнення ділення на нуль

MCC = numerator / denominator
return MCC

# Використання функції
confusion_matrix = [ ]

MCC = calculateMCC(confusion_matrix)
print("Узгодженість MCC:", MCC)

```

Вхідні дані включають матрицю невідповідностей (`confusion_matrix`), яка має розмір  $n \times n$ , де  $n$  — це кількість класів. У кожній клітинці матриці

$\text{confusion\_matrix}[i][j]$  зазначена кількість випадків, коли істинний клас дорівнює  $i$ , а передбачений —  $j$ .

Матриця невідповідностей описує кількість правильних і хибних передбачень для кожного класу. Чисельник (Numerator) для обчислення коефіцієнта кореляції Метьюза (МСС) визначається як сума добутків елементів, розташованих на діагоналі матриці, з одночасним врахуванням різниці добутків інших елементів. Компоненти знаменника формуються через обчислення двох складових ( $\text{denominator\_left}$  та  $\text{denominator\_right}$ ), які далі об'єднуються для отримання загального знаменника. Кінцеве значення МСС розраховується шляхом ділення чисельника на знаменник.

Додатково проводиться аналіз узгодженості за допомогою коефіцієнта Кронбаха. У процесі оцінювання враховуються результати суб'єктивного ретроспективного аналізу та експертних висновків. Оцінювальні тести побудовані як набір питань, що охоплюють об'єктивні й суб'єктивні показники продуктивності, з різними рівнями приховування відповідей. Для оцінювання використовувалася універсальна 5-бальна шкала, що охоплює діапазон від 0 (абсолютна незгода) до 5 (повна згода).

У тесті кожен фактор  $k$ , що відображає певний аспект когнітивного упередження (наприклад, упевненість, чесність, байдужість, невизначеність чи досвід), отримував свою індивідуальну оцінку  $X_i$  у межах 0...1. Це робилося для спрощення інтеграції з іншими методами універсального оцінювання.

Узагальнена формула коефіцієнта:

$$\rho_T = \frac{k^2 \overline{\sigma_{ij}}}{\sigma_X^2}, \quad (2.34)$$

де  $\overline{\sigma_{ij}} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j \neq i}^k \sigma_{ij}}{k(k-1)}$  – середнє значення міжпозиційних коваріацій, а  $\sigma_X^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \sigma_{ij}$  – дисперсія спостережуваного оцінювання предметів [80].

## Лістинг 2.11. Псевдокод визначення коефіцієнта узгодженості (за Кронбахом)

```
function calculateCronbachAlpha(data):
    num_questions = len(data[0]) # Загальна кількість питань
    item_variances = []

    # Обчислення дисперсій кожного питання
    for question in data:
        avg_question = mean(question)
        variance = sum((value - avg_question)**2 for value in question) /
            (len(question) - 1)
        item_variances.append(variance)

    total_variance = sum(item_variances)
    avg_covariance = calculateMeanCovariance(data)

    # Формула для обчислення альфа Кронбаха
    alpha = (num_questions / (num_questions - 1)) * (1 - (total_variance /
        (total_variance + avg_covariance)))
    return alpha

function calculateMeanCovariance(data):
    num_questions = len(data[0])
    total_covariance = 0

    # Обчислення всіх парних коваріацій
    for i in range(num_questions):
        for j in range(i + 1, num_questions):
            covariance = calculateCovariance(data[i], data[j])
            total_covariance += covariance
```

```

avg_covariance = total_covariance / (num_questions * (num_questions - 1) / 2)
return avg_covariance

function calculateCovariance(X, Y):
    avg_X = mean(X)
    avg_Y = mean(Y)
    covariance = sum((x - avg_X) * (y - avg_Y) for x, y in zip(X, Y)) / (len(X) - 1)
    return covariance

# Використання функції для розрахунку
data = [ ] # Вкажіть дані для аналізу
alpha = calculateCronbachAlpha(data)
print("Коефіцієнт альфа Кронбаха:", alpha)

```

Часові межі досліджень визначені наступним чином: 2 тижні для тестування окремих когнітивних упереджень, 4 місяці для тренувань нейропластичності, 6 місяців для розвитку здатності утримувати контроль і зменшувати когнітивні упередження.

Вимоги до учасників включають вік у межах 35-42 років (або 25-37 років), необхідний досвід, високий рівень нейрограмотності, а також врахування таких характеристик, як темперамент, освіта, досвід, володіння однією мовою, співвідношення шульга-правша-амбідекстер, результати психологічного тесту, спеціальний режим діяльності, помірне споживання стимулюючих речовин, таких як кава, та підтримання доброго фізичного стану.

Вимоги до експертів передбачають досвід в навчальній або експертній діяльності, віковий діапазон 25-37, 35-42 або 42-65 років, розподіл за досвідом і освітою, а також проходження психологічного тесту.

Рекомендована кількість експериментів — не менше 50 сесій у нейрокомп'ютерному середовищі. (Див.Додаток Е, Ж)

Для подальших досліджень важливо враховувати особливості складання завдань і тренувальних траєкторій, потенційні зміни оцінювання, а також результати супутніх досліджень психометричних характеристик у різних умовах і видах діяльності. Структуру тестів можна адаптувати до специфічних потреб, додавши додаткові характеристики учасників, інший віковий чи професійний розподіл, та врахувавши ці фактори впливу на результати [81].

## Висновки до 2 розділу

До переваг класичної стратегії належать значний діапазон когнітивних упереджень, які можна пом'якшити, їх точна специфікація, а також позитивний вплив на результати аналітичної роботи та розвиток емоційного інтелекту. Рівень об'єктивності цієї стратегії вважається задовільним (62-73%).

Серед недоліків класичної стратегії варто відзначити залежність від суб'єктивного фактору, низький рівень об'єктивності окремих методів збору й обробки даних, необхідність проведення численних експериментів, тривалий процес навчання моделей та ризик отримання помилкових результатів у конкретних тестах (0,18).

Нова нейроосвітня стратегія демонструє вищу об'єктивність у порівнянні з класичною. Це, ймовірно, пов'язано з виключенням складних, але другорядних обчислень, які знижували точність та негативно впливали на рівень ризику помилок. Дана стратегія дозволяє досягати більш точних результатів за цільовими метриками завдяки оцінюванню вразливих показників. Вона також має високий рівень узгодженості (82-85%) та низький ризик помилок (0,035).

Однак до недоліків нової стратегії відносяться численні обмеження, тривалість досліджень, вибірковість узгодженості даних попередніх експериментів для порівняння в унікальних умовах, а також висока залежність від змін у нейропластичності (за місяць показники для завдань одного типу можуть значно змінюватися, особливо при відсутності тренувань).

Для подолання цих проблем слід забезпечити проведення досліджень з дотриманням спеціального режиму діяльності та відновлення, продовжити тривалість тренувань, здійснювати регулярні контрольні тестування і поширювати цінності нейро-комп'ютерного суспільства.

## Розділ 3

### **ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ В РОБОТІ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ КОГНІТИВНИХ УПЕРЕДЖЕНЬ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СППР З НЕЧІТКИМ ВИВЕДЕННЯМ.**

#### **1.1. Гібридна система підтримки прийняття рішень для зменшення впливу когнітивних упереджень на основі когнітивних карт ситуації**

Сучасні методології дозволяють отримувати експертні знання про динамічні властивості ситуацій, тобто їхні причинно-наслідкові зв'язки. Ці знання фіксуються за допомогою когнітивних карт. Методи аналізу динамічних ситуацій на основі когнітивних карт дають чіткі результати моделювання, включаючи прогнози розвитку ситуацій і стратегії досягнення цільового стану, особливо для невеликих когнітивних карт. Оцінка прогнозів розвитку ситуації та ухвалення управлінських рішень здійснюється за допомогою статичних моделей оцінювання стану ситуації. Методологія когнітивного моделювання базується на створенні суб'єктивної моделі ситуації, яка відображає знання суб'єкта про закони її розвитку. Така модель, сформована експертним шляхом, представлена у вигляді орієнтованого знакового графа (когнітивної карти). Вершини графа є факторами ситуації, а зважені дуги - причинно-наслідковими зв'язками, де вага відображає силу впливу факторів ситуації. Кожна дуга графа має знак "+" або "-", що вказує на позитивний або негативний вплив. Позитивний зв'язок означає, що збільшення значення фактора-причини призводить до збільшення значення фактора-наслідку, а негативний - до зменшення значення фактора-наслідку. Завдання, що вирішуються за допомогою когнітивних карт, включають виявлення та оцінку впливів факторів ситуації, а також прогнозування розвитку ситуації. Для розрахунку впливів і прогнозів розвитку ситуації сьогодні широко використовуються нечіткі когнітивні карти (НКК).

Концепт НКК був запропонований Б. Коско (1986) використовується для моделювання причинно-наслідкових зв'язків у певних областях. НКК являє собою нечіткий орієнтований граф із зворотним зв'язком, у якому вузли є нечіткими множинами. Спрямовані ребра графа відображають причинно-наслідкові зв'язки між поняттями та чисельно характеризують ступінь їхнього впливу (вага). На відміну від звичайних когнітивних карт, вплив між факторами задається лінгвістичними значеннями, вибраними з упорядкованої множини можливих сил впливів. Значення факторів, як і їх збільшення, теж задаються лінгвістично та вибираються з упорядкованих множин можливих значень та їх прирощень — шкал факторів і шкал приросту [82].

НКК об'єднують властивості нечітких систем і нейронних мереж. Завдяки використанню НКК як інструменту моделювання систем, можна наочно відобразити структуру взаємозв'язків у досліджуваній системі, а також полегшити інтерпретацію причинно-наслідкових зв'язків між концептами. З точки зору штучного інтелекту, НКК є нейронними мережами, які навчаються під наглядом. Чим більше даних доступно для моделювання задачі, тим адаптивнішими стають НКК у контексті розвитку та вироблення відповідного рішення. Відповідно, НКК добре підходять для задач пошуку рішення серед численних альтернатив. Розглянемо деякі сфери застосування цієї технології.

Ця технологія застосовується для інтеграції моделей прогнозування та оцінки неструктурованих ситуацій на основі підходів когнітивного моделювання. Такі моделі охоплюють усі етапи процесу підтримки прийняття рішень, починаючи з аналізу ситуації і закінчуючи вибором найкращої альтернативи, і призначені для підтримки діяльності аналітиків у умовах невизначеності.

Наприклад, можна розглянути інтегровану модель підтримки прийняття рішень [83, 84]. Ця модель використовується для прийняття рішень у слабо структурованих динамічних ситуаціях і ґрунтується на інтеграції нечіткої ієрархічної моделі оцінювання та нечіткої когнітивної моделі ситуації. На відміну від кожної зі своїх складових, інтегрована модель підтримує всі етапи процесу прийняття рішень. Аналіз ситуації проводиться шляхом декомпозиції мети,

визначеної експертом, а також структурно-функціональної декомпозиції ситуації, що дозволяє системно описати поведінку неструктурованої ситуації і її динаміку.

Конструювання (генерація) альтернатив здійснюється за допомогою когнітивної моделі, а вибір найкращого рішення базується на оцінці прогнозів розвитку ситуації, отриманих за допомогою когнітивної моделі в ієрархічній моделі оцінювання. У інтегрованій моделі кількість альтернатив є нефіксованою, що дозволяє конструювати альтернативи та оперативно оцінювати їх щодо досягнення генеральної мети [85].

Отже, ієрархічна модель оцінювання альтернатив управління ситуацією та динамічна когнітивна модель ситуації описують ту саму ситуацію, але з різних аспектів. Модель оцінювання розглядає ситуацію з погляду мети управління ситуацією, ступінь досягнення якої виражається через переваги експерта щодо критеріїв, визначених їхньою вагою та конкретними значеннями множини листових критеріїв, представлених у певній шкалі. У динамічній моделі ситуації описуються зміни значень факторів у часі, незалежно від їхньої важливості для досягнення поставленої мети. Ця модель якісно описує динаміку розвитку ситуації, представлену в якісних шкалах факторів ситуації.

Для інтеграції цих моделей ситуації необхідно забезпечити перетин факторів ситуації, описаних у кожній з моделей, а також відображення значень факторів ситуації, отриманих у когнітивній моделі, у значеннях листових критеріїв моделі оцінювання. Проблема забезпечення перетину факторів когнітивної карти та листових критеріїв ієрархії оцінювання вирішується узгодженням методологій побудови ієрархічної моделі оцінювання та когнітивної карти [86, 89].

Інтегрована модель дозволяє оцінювати зміни поточного стану ситуації, що робить її корисною для використання в системах моніторингу стану ситуації. Така інтегрована модель підтримки прийняття рішень може слугувати теоретичною основою для розробки комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень у неструктурованих ситуаціях, заснованої на моделюванні знань і переваг експерта.

Подібні підходи знаходять застосування в системах аналізу ділової активності для економіки знань. Вони використовують інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, що застосовують когнітивні методи аналізу свідомості людей, залучених до цих процесів. Додатково до цього проводиться тестування якості ухвалення рішень (ОПР) за мозковою активністю для параметричного налаштування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень ( рис.3.1).

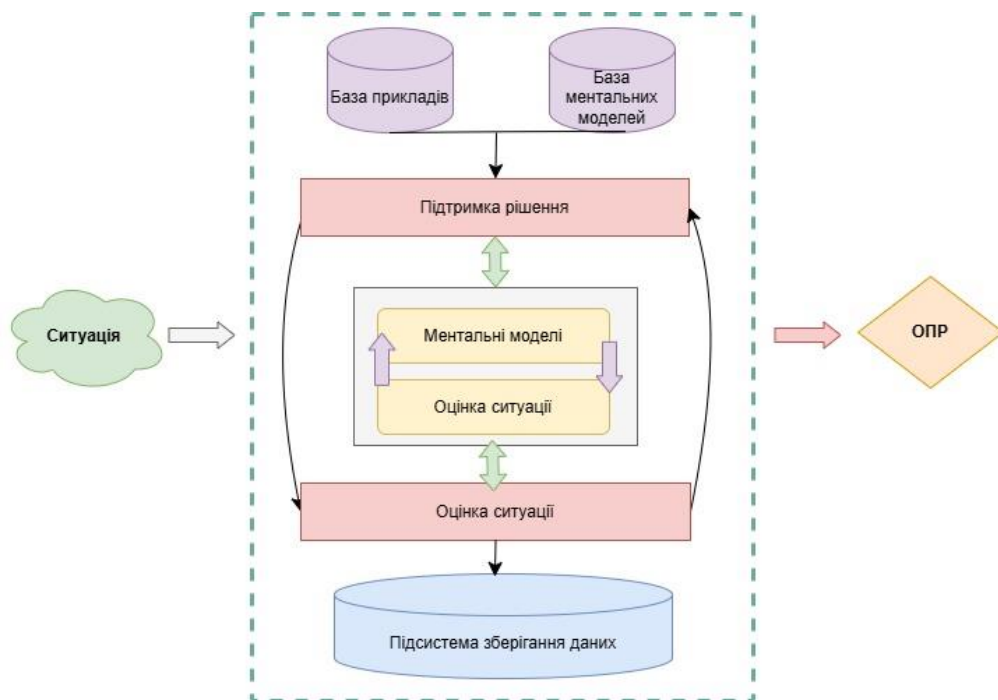


Рисунок 3.1. Ментальні моделі у проектній діяльності

Розроблена модель може слугувати теоретичною основою для створення комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень у неструктурованих ситуаціях, заснованої на моделюванні знань і переваг експерта. Подібні підходи знаходять застосування в системах бізнес-аналітики для економіки знань, де використовуються інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, що застосовують когнітивні методи аналізу свідомості людей, залучених до цих процесів. У цьому контексті важливо враховувати вплив когнітивних упереджень, які можуть вплинути на точність і надійність рішень, прийнятих на основі цих систем. Наприклад, упередження підтвердження може призводити до переоцінки даних, які підтримують існуючі переконання експерта.

Вхідними даними системи підтримки рішень ( $X$ ) є інформація про поточну ситуацію представлена у значеннях її факторів.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (3.1)$$

Ментальні моделі ( $M$ ) використовуються для оцінки вхідних даних та визначення причинно-наслідкових зв'язків.

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\} \quad (3.2)$$

Оцінка ситуації ( $E$ ) базується на аналізі ментальних моделей і визначенні значень факторів ситуації.

$$E = f(X, M) \quad (3.3)$$

Альтернативи ( $A$ ) конструюються на основі когнітивних моделей і включають можливі рішення для управління ситуацією.

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \quad (3.4)$$

Оцінка альтернатив ( $E_A$ ) базується на прогнозах розвитку ситуації, отриманих за допомогою когнітивних моделей.

$$E_A = g(A, E) \quad (3.5)$$

Підсистема зберігання даних ( $D$ ) забезпечує зберігання всіх зібраних даних, ментальних моделей, оцінок ситуації та альтернатив.

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_l\} \quad (3.6)$$

Особа, що приймає рішення (ОПР), використовує надану інформацію та підтримку для прийняття остаточного рішення.

$$P = h(E_A, D) \quad (3.7)$$

Ця система забезпечує комплексний підхід до аналізу та оцінки ситуації, враховуючи всі етапи процесу підтримки прийняття рішень, від аналізу ситуації до вибору найкращої альтернативи.

### **3.2. Інтегрована модель підтримки прийняття рішень на основі аналізу ситуацій**

Ієрархічна модель оцінювання альтернатив управління ситуацією та динамічна когнітивна модель описують ту саму ситуацію, але з різних аспектів. Модель оцінювання розглядає ситуацію з погляду управлінської мети, ступінь досягнення якої виражається через переваги експерта щодо критеріїв, визначених за їх вагою та конкретними значеннями безлічі листових критеріїв, представлених у певній шкалі. Натомість динамічна модель ситуації описує зміни значень факторів у часі, незалежно від їхньої важливості для досягнення поставленої мети. Ця модель якісно відображає динаміку розвитку ситуації, представлєну в якісних шкалах факторів.

Інтеграція цих моделей забезпечується необхідним перетином факторів ситуації, описаних в кожній з моделей, та відображенням значень факторів ситуації з когнітивної моделі у значення листових критеріїв моделі оцінювання.

Проблему забезпечення перетину факторів когнітивної карти та листових критеріїв ієрархії оцінювання пропонується вирішити шляхом узгодження методологій побудови ієрархічної моделі оцінювання та когнітивної карти.

При побудові оціночної ієрархії експерти користуються методологією декомпозиції мети «згори донизу», яка дозволяє досить повно описати проблемну ситуацію, тобто побудувати системну оцінну модель ситуації, що включає оцінки елементів ситуації різних рівнів.

Методологія побудови когнітивних карт включає побудову концептуальних моделей на основі найбільш загальних законів розвитку та управління ситуацією. Отримати перетин факторів когнітивної карти та ієрархічної моделі оцінювання за таким підходом складно. У цьому випадку кількість листових критеріїв ієрархії оцінювання ситуації буде більшою (оскільки ієрархічна модель оцінювання більш конкретна і точна) за число факторів моделі когнітивного моделювання [91, 92].

Для вирішення проблеми інтеграції когнітивної карти та ієрархічної моделі використовують системний метод побудови когнітивної карти ситуації [84]. Метод ґрунтується на структурно-функціональній декомпозиції ситуації та описі ситуації у двох аспектах: структурному та функціональному. Опис ситуації у структурному аспекті полягає у виділенні складових частин спостережуваної ситуації у вигляді ієрархії «Частина-Ціле»,  $\langle D, \Theta \rangle$ , де  $D = \{d_i\}$  – множина елементів, що описують цілі та складові частини ситуації;  $\Theta$  – відношення «Частина-Ціле», задане на множині елементів ситуації  $D$ . При структурній декомпозиції визначаються основні фактори  $F_i = \{f_{ij}\}$  всіх елементів ситуації  $d_i$ .

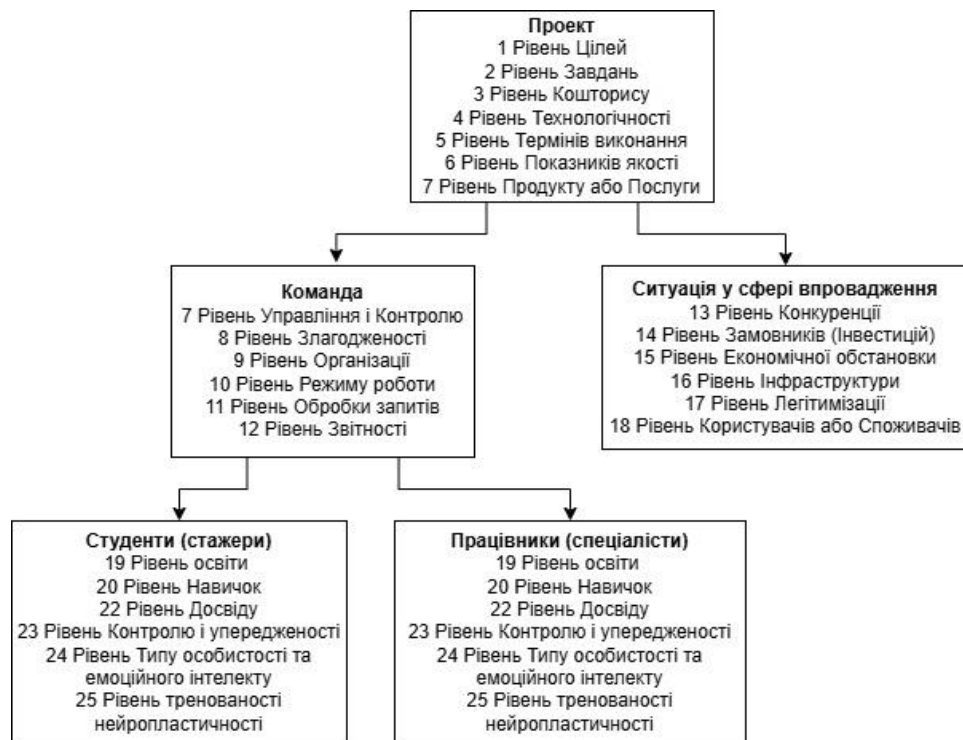


Рисунок 3.2. Декомпозиція проблеми підвищення точності прийняття рішень у проектній діяльності (варіант)

При описі у функціональному аспекті будуються когнітивні карти для кожного елемента ситуації  $d_i \in D$ , які видаються парою  $(F_i, W_i)$ , де  $F_i = \{f_{ij}\}$  – фактори елемента  $d_i$ ;  $W_i$  – матриця суміжності графа, що відбиває знання закони функціонування елемента ситуації  $d_i$ .

Когнітивні карти  $(F_i, W_i)$  елементів ситуації об'єднуються в когнітивну карту складної ситуації  $(F, W)$ , де  $F = \cup F_i$  – множина факторів – факторів ситуації;  $W$  –

матриця суміжності орієнтованого графа, що описує складну ситуацію і включає матриці  $W_i$  окремих елементів ситуації та зв'язку між ними. Побудова когнітивної карти на основі такої методології дає можливість розширити безліч факторів когнітивної моделі  $F$  до рівня, що дозволяє докладно описати ситуацію і наближатися до рівня опису ситуації в моделі ієрархічного оцінювання. Далі експерт виділяє серед чинників когнітивної карти близькі за змістом листовим критеріям ієрархічної моделі. Виділяючи такі фактори, експерт визначає підмножину  $\Phi \subset F$  факторів когнітивної моделі, що відповідають листовим критеріям  $l_i, i = 1, n$ . На рисунку 3.2 показаний результат декомпозиції «Частина-Ціле» проблеми підвищення точності. У відповідних блоках перелічені основні ознаки складових частин, які є факторами в когнітивній карті ситуації. Когнітивна карта ситуації показана на рисунку 3.3. Тут експертним способом були визначені причинно-наслідкові зв'язки між факторами ситуації та ваги зв'язків, що характеризують силу впливу. Перетин факторів когнітивної картки та листових критеріїв – це множина  $\Phi$ , яка включає такі фактори когнітивної карти: «рівень точності прийняття рішень», «мотивація ОПР», «забезпечення проекту», «показники якості», «обмеження», «економічна обстановка у сфері впровадження».

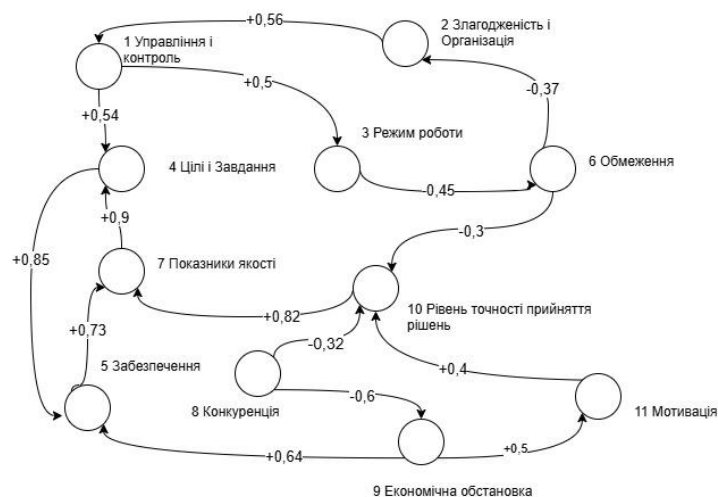


Рисунок 3.3. Когнітивна карта ситуації

Значення відносної важливості для альтернатив у моделі ієрархічного оцінювання можуть бути отримані, якщо заздалегідь задано множину оцінюваних альтернатив.

При інтеграції моделі ієрархічного оцінювання з моделлю когнітивного моделювання альтернативи заздалегідь не можуть бути визначені. Вони будуються в процесі моделювання поведінки ситуації за допомогою когнітивної моделі. Тому пропонується побудувати значення для листових критеріїв на основі шкал відповідних факторів когнітивної моделі [93, 94].

У загальному випадку необхідно побудувати відображення:  $\Psi_{l_m}: \{x_{ij}\} \rightarrow \{y^j_{l_m}\}$ , де  $\{x_{ij}\}$  – множина значень фактора  $f_i$  когнітивної моделі, заданих на відрізьку числової осі на  $[0, 1]$ ,  $\{y^j_{l_m}\}$  – множина значень відповідного листового критерію  $l_m$  ієрархії  $\{y^j_{l_m}\} \in [0, 1]$ .

Розглянемо правила побудови відображення  $\Psi_{k_m}$  для наступних трьох випадків.

1. Експерт визначає взаємно однозначну відповідність листового критерію  $l_m$  і фактора  $f_i$  до гнітивної моделі. Тоді відображення  $\Psi_{l_m}$  – функція активації, отже, кожне значення шкали фактора дорівнює значенню шкали критерію, тобто:  $\Psi_{l_m}: y^j_{l_m} = x_{ij}$ , де  $j$  – кількість градацій шкали фактора  $f_i$ .

2. Експерт визначає відповідність листового критерію та фактора когнітивної моделі за змістом, однак не виконано правило позитивного зв'язку, що діє при побудові ієрархічної моделі. Тобто реалізація критеріїв, що знаходяться на нижчих рівнях, не призводить до зниження можливості реалізації критеріїв, що знаходяться на вищих рівнях. У когнітивній моделі можуть існувати фактори, близькі за змістом деякому критерію, але знижують можливість реалізації критеріїв вищого рівня. Наприклад, в ієрархічній моделі листовим критерієм  $l_m$  може бути критерій «цілі і завдання», а близький до нього за змістом фактор  $f_i$  когнітивної моделі – «показники якості». У таких випадках

відображення  $\Psi_{l_m}$  має вигляд:  $\Psi_{l_m}: y_{l_m}^j = 1 - x_{ij}, i = 1, j$ , де  $j$  – кількість градацій шкали фактора  $f_i$ .

3. Експертом позначено смислову близькість фактора  $f_i$  та критерію  $l_m$ , проте відображення  $\Psi_{l_m}$  не може бути визначено наведеними вище способами. У цьому випадку пропонується побудувати шкалу критерію  $l_m$  і кожному значенню  $x_{ij}$  шкали фактора  $f_i$  поставити у відповідність значення на шкалі критерію  $l_m$ , тобто  $\Psi_{l_m}: \{x_{ij}\} \rightarrow \{y_{l_m}^j\}$

Після визначення відображення  $\Psi_{l_m}$  для всіх критеріїв  $l_m$  інтегрована модель вважається побудованою.

Для критеріїв «рівень прийняття рішень», «показники якості», «обмеження», «досвід» будується те саме відображення шкал однойменних факторів когнітивної карти в шкали критеріїв ієрархії. Шкала критерію «команда» будується зі шкали фактора «проект» з використанням другого правила побудови відображення шкал. Листовому критерію «забезпечення» експертом було поставлено у відповідність фактор «показники якості» когнітивної картки [86, 95]. Шкала при цьому критерію побудовано за правилом 3.

### 3.3. Визначення інтегрованої моделі підтримки прийняття рішень.

Інтегровану модель підтримки прийняття рішень у неструктурованих ситуаціях можна представити наступним кортежем:  $\langle Co, Ir, \Phi, \Psi, P, F(X_K^\Phi(m), v_i) \rangle$ , де  $Co$  – когнітивна модель ситуації;  $Ir$  – ієрархічна модель оцінювання;  $\Phi$  – множина факторів когнітивної моделі,  $\Phi \in F$ , подібних за змістом до листових критеріїв ієрархічної моделі оцінювання  $K$ ,  $\Phi = \{f_i \in F, l_i \in K: f_i \sim l_i, j = 1, n\}$  – змістова подібність факторів з множин  $F$  і  $K$ ;  $\Psi = \psi_i$  – множина відображень шкал факторів когнітивної моделі  $X$  у шкали листових критеріїв моделі ієрархічного оцінювання  $Y$ ,  $\psi_i: X_i \rightarrow Y_i$ ;  $P = \{P^K\}$  – множина альтернатив інтегрованої моделі підтримки прийняття рішень;  $F(X_K^\Phi(m), v_i)$  – оцінки досягнення генеральної мети альтернативою інтегрованої моделі підтримки прийняття рішень.

Експерт визначає кілька можливих керуючих впливів  $P = \{P^K\}$ , де  $P^K = (p_1^K, \dots, p_m^K)$  – вектор збільшення факторів ситуації в початковий момент часу. Для кожного керуючого впливу  $P^K \in P$  може бути отриманий прогноз розвитку ситуації в послідовні дискретні моменти часу  $X_K(0), \dots, X_K(T)$ , де  $X_K(t) = (x_1^K(t), \dots, x_m^K(t))$  – вектор значень усіх факторів когнітивної моделі в момент часу  $t$ . При цьому, звичайно, в отриманому прогнозі будуть змінюватися і фактори з множини  $\Phi$ , безпосередньо пов'язані з листовими критеріями моделі ієрархічного оцінювання. Тоді ієрархічна модель у послідовні моменти часу оцінюватиме вектор станів  $X_K^\Phi(0), \dots, X_K^\Phi(T)$ , тобто буде отримана оцінка всіх послідовних прогнозних станів  $F(X_K^\Phi(t), v_i)$ .

Альтернативою в інтегрованій моделі за підтримки прийняття рішень називатимемо керуючий вплив  $P^K \in P$ .

Оцінкою досяжності генеральної мети альтернативою  $P^K$  називатимемо оцінку прогнозу розвитку ситуації цієї альтернативи  $F(X_K^\Phi(m), v_i)$ , де  $m$  – число факторів когнітивної моделі.

Розглянемо альтернативи.

Альтернатива  $K^1$  – «Оптимізація злагоженості» реалізується як зменшення значень факторів «рівень помилок» та «рівень неточностей» на 10%. Альтернатива подається у вигляді вектора приростів  $P_1 = (0, 0.041, 0, 0, 0, 0, 0.012, 0, 0, 0.009, 0, 0)$ .

Альтернатива  $K^2$  – «Покращення забезпечення» реалізується як збільшення значення фактора «мотивація» на 10%. Вектор, який визначає цю альтернативу, наступний:

$$P_2 = (0, 0, 0, 0, 0.01, 0, 0, 0, 0, 0, 0.014).$$

Альтернатива  $K^3$  – «Розширення технологічності» реалізується як зменшення значень факторів «обмеження» на 10 %. Вектор

$$P_3 = (0, 0, 0, 0, 0.01, -0.027, 0, 0, 0, 0).$$

Початковий стан ситуації  $X(0)$ , прогнози розвитку ситуації для кожної альтернативи  $X_1(m)$ ,  $X_2(m)$ ,  $X_3(m)$ , ваги листових критеріїв  $v_i$  та добутку  $X_1 \cdot X^{\Phi_1}(m) \cdot v_i, X_2 \cdot X^{\Phi_2}(m) \cdot v_i, X_3 \cdot X^{\Phi_3}(m) \cdot v_i$  наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Параметри когнітивної карти

№	$X(0)$	$X_1(m)$	$X_2(m)$	$X_3(m)$	$v_i$	$X^{\Phi_1}(m) \cdot v_i$	$X^{\Phi_2}(m) \cdot v_i$	$X^{\Phi_3}(m) \cdot v_i$
1	0,34	0,34	0,34	0,34	0	0	0	0
2	0,43	0,43	0,43	0,43	0	0	0	0
3	0,26	0,26	0,26	0,26	0	0	0	0
4	0,57	0,57	0,57	0,57	0,19	0,034	0,0345	0,0342
5	0,32	0,32	0,32	0,32	0	0	0	0
6	0,27	0,27	0,27	0,27	0	0	0	0
7	0,54	0,54	0,54	0,54	0,17	0,032	0,0317	0,032
8	0,38	0,38	0,38	0,38	0	0	0	0
9	0,49	0,49	0,49	0,49	0,2	0,114	0,12	0,12
10	0,52	0,528	0,529	0,52	0,24	0,124	0,12	0,124
11	0,47	0,468	0,47	0,47	0,28	0,153	0,149	0,153

Оцінки досяжності мети для кожної альтернативи, отримані за допомогою інтегрованої моделі, будуть наступні:

K1 : «Оптимізація злагодженості»

$$F(K^1, v_i) = \sum_{i=1}^{11} X_1^\Phi(m)v_i = 0,3942; \quad (3.8)$$

K2: «Покращення забезпечення»

$$F(K^2, v_i) = \sum_{i=1}^{11} X_1^\Phi(m)v_i = 0,4143; \quad (3.9)$$

K3 : «Розширення технологічності»

$$F(K^3, v_i) = \sum_{i=1}^{11} X_1^\Phi(m)v_i = 0,4457; \quad (3.10)$$

Порівнявши оцінки досяжності генеральної цілі з альтернативами  $K^1$ ,  $K^2$ ,  $K^3$ , отримані в результаті роботи гібридної моделі [86], яка представлена на рисунку 3.5, і оцінки, отримані в класичній моделі ієрархії, бачимо, що найкращою альтернативою в обох випадках є  $K^3$ , далі йдуть альтернативи  $K^1$  і  $K^2$ . В інтегрованій моделі є можливість генерації альтернатив залежно від змін поточної ситуації[81,96].

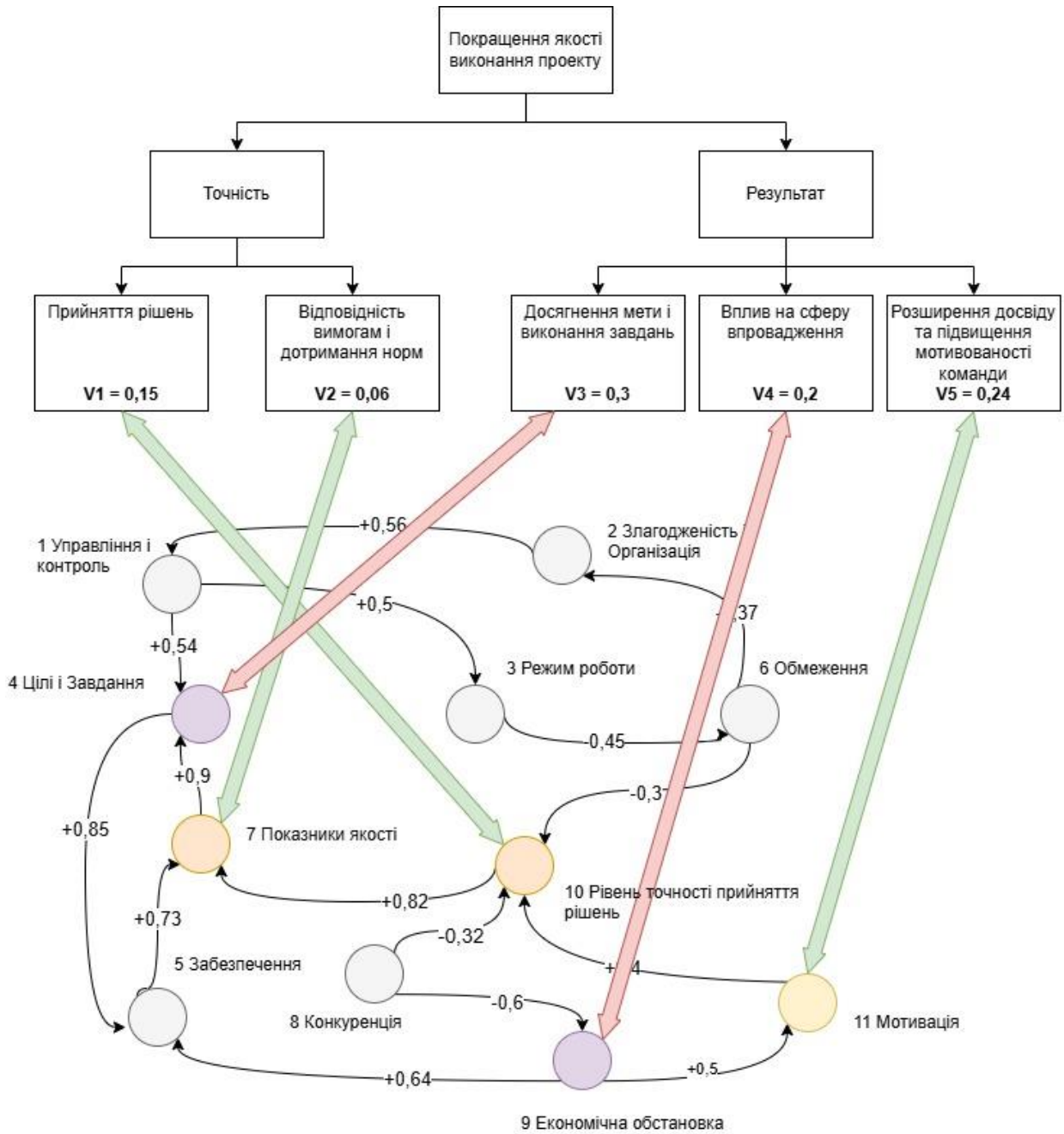


Рисунок 3.4. Гібридна модель підтримки прийняття рішень

Розроблена система прогнозування базується на модулярній архітектурі, що надає системі додаткову стійкість: навіть якщо один з модулів виходить з ладу, інші модулі продовжують виконувати свою роботу [97].

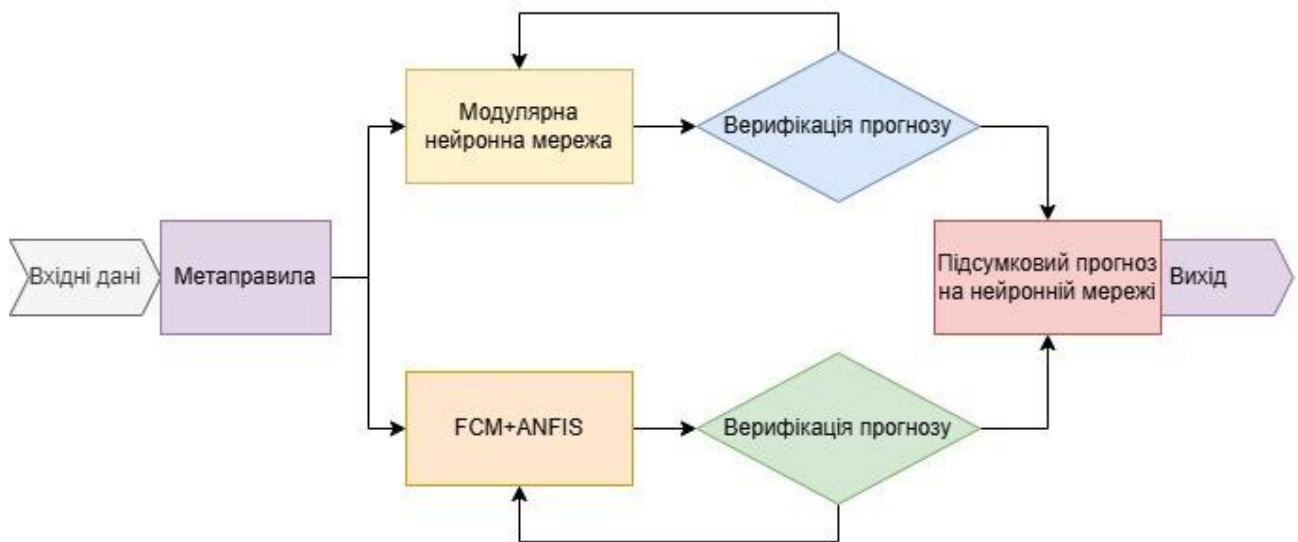


Рисунок 3.5. Модульна система прогнозування

Сама система має три основні модулі, що відповідають за завдання прогнозування. Гібридна нейро-нечітка мережа виконує прогноз тимчасового ряду на основі чисельних показників і дає так званий кількісний прогноз, результати якого проходять через систему верифікації (оцінки адекватності прогнозу); якщо прогноз відповідає необхідної точності, він передається на наступний модуль.

Паралельно з нейро нечіткою мережею працює модуль із НКК, який отримує на вхід дані про подієвий вплив на часовий ряд, будується когнітивна карта, в якій враховуються всі фактори впливу на конкретний прогнозований показник. На виході когнітивна карта дає прогноз з ймовірністю його виконання, тобто з консонансом фактора, який говорить, виконається прогноз чи ні. Далі всі дані, отримані з цих модулів, надходять на третій модуль, що працює на основі нейронної мережі, який агрегує інформацію, отриману з попередніх модулів, і видає загальний прогноз[98].

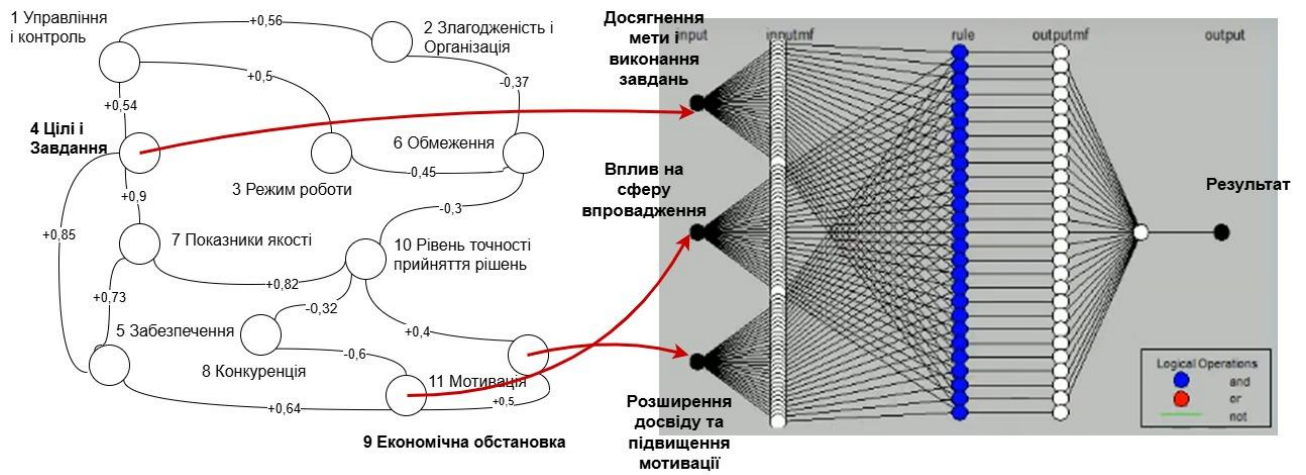


Рисунок 3.6. Гібридна система з нейро-нечіткою мережею

Кількість факторів можна збільшити до 4, ввівши когнітивні показники як вхідні дані у частці від цілого, визначивши інтенсивність дії протягом прийняття рішень.

Вдосконалену гібридну нейро-нечітку мережу представлено у Додатку Л.

### 3.3. Гібридний підхід до прогнозування на основі НКК

Цей підхід дозволяє підвищити точність прогнозування завдяки використанню як вхідні дані нейронної мережі вузли НКК.

Великий вплив на точність прогнозу має вибірка даних, на якій будується прогноз.

Підхід має дві основні стадії. На першій стадії розробляється модель НКК за історичними даними часових рядів за допомогою генетичного алгоритму навчання [99].

Етапи першої стадії:

- 1) ініціалізація НКК за історичними даними часових рядів;
- 2) побудова оптимізованої НКК (вибираючи найбільш значущі концепти та їх сполуки)
- 3) за допомогою генетичного алгоритму [89,100];
- 4) тестування НКК на основі нормалізованих перевірочних даних.

Використовуємо концепти НКК для визначення входів для нейронної мережі для підвищення точності прогнозування. Друга стадія складається з наступних кроків:

- 1) підвищення точності прогнозування, використовуючи відібрані вхідні дані – концепти;
- 2) розробленої когнітивної карти;
- 3) навчання нейронної мережі;
- 4) тестування отриманої нейронної мережі на тестових даних.

Такий приклад, зображений рисунку 3.6, представляє процес прогнозування такого показника, як «якість виконання проекту». Використання когнітивної карти в даній ситуації найбільш доцільно з наступної причини: щоб побудувати якісний прогноз даного показника, як багатьох інших, необхідно виділити фактори, що найбільше впливають на нього. Когнітивна карта найкраще

допомагає вирішити подібне завдання і цим подати на входи нейронної мережі підготовлені дані концептів когнітивні карти. [90,101]

Процес оцінювання об'єктивності випробувань систем підтримки прийняття рішень можна розділити на кілька основних кроків. Спершу, визначаються критерії успішності, такі як час виконання завдань, точність результатів чи інші метрики. Потім готуються репрезентативні тестові дані, які мають бути різноманітними та відображати реальні ситуації. Наступним етапом є використання контрольних груп для порівняння результатів і визначення об'єктивності випробувань. Після цього проводиться аналіз результатів за допомогою статистичних методів, таких як аналіз варіацій, кореляційні та регресійні моделі. Для підтвердження результатів проводяться повторні випробування, що допомагає усунути помилки та підвищити точність оцінки. Наприкінці оцінювання збирається зворотний зв'язок від користувачів і експертів для вдосконалення процесу випробувань.

Процес прогнозування підвищення точності результатів вдосконаленої системи підтримки прийняття рішень охоплює кілька основних аспектів. Спочатку необхідно провести аналіз поточних результатів, оцінюючи рівень точності за такими метриками, як середнє квадратичне відхилення або коефіцієнт точності. Потім слід вдосконалити алгоритми, зокрема застосувавши машинне навчання, нейронні мережі, методи глибокого навчання та інші передові технології. Важливо також вдосконалити збір і аналіз даних, забезпечуючи їх якість і збільшуючи обсяг. Регулярне калібрування системи допомагає підтримувати стабільність роботи та високу точність, враховуючи зовнішні зміни та змінені вимоги. Постійне тестування і валідація результатів проводяться для перевірки точності за допомогою контрольних випробувань і статистичного аналізу. Збір зворотного зв'язку від користувачів і експертів дозволить виявляти проблеми та вдосконалювати технологію. Ці заходи допоможуть підвищити точність результатів вдосконаленої системи, забезпечуючи більш точні та надійні дані для користувачів. (Див.Додатки Б і В)

### 3.4. Застосування вдосконаленої системи

Для перевірки виконання поставленого завдання проводяться тестові випробування. З метою отримання попередніх результатів проводиться порівняльне дослідження ефективності інформаційної технології в імітованих умовах. Дві групи (по 5 осіб<sup>17</sup>) проходять тренування нейропластичності у нейрокомп'ютерному середовищі при прийнятті рішень. Паралельно проводиться оцінка когнітивних показників та вплив когнітивних упереджень. На першому етапі (2 місяці) пропонуються елементарні завдання, проводиться попереднє тестування прийняття рішень підкріплене прихованим анкетуванням суб'єктивного ретроспективного аналізу, визначається тип особистості та індивідуальні різниці. Вводиться експертне оцінювання діяльності за умови дотримання подвійної сліпої перевірки (Див. Додаток Ж).

На другому етапі (6 місяців) перша група працює в середовищі із стратегією першої моделі, а друга – із врахуванням вразливих показників. Протягом перших 3 місяців досліджуються когнітивні упередження. Наступних 3 – вводяться засоби зменшення впливу. У першій групі учасники отримують додаткові тренування за часто повторюваними типами упереджень. У другій групі учасники отримують сповіщення або рекомендації, що зумовлюють зміну когнітивного стану на цільовий.

На третьому етапі сповіщення і рекомендації не надаються, учасники діють автоматично або самостійно.

Порівнюються результати (відносно допустимих та цільових):

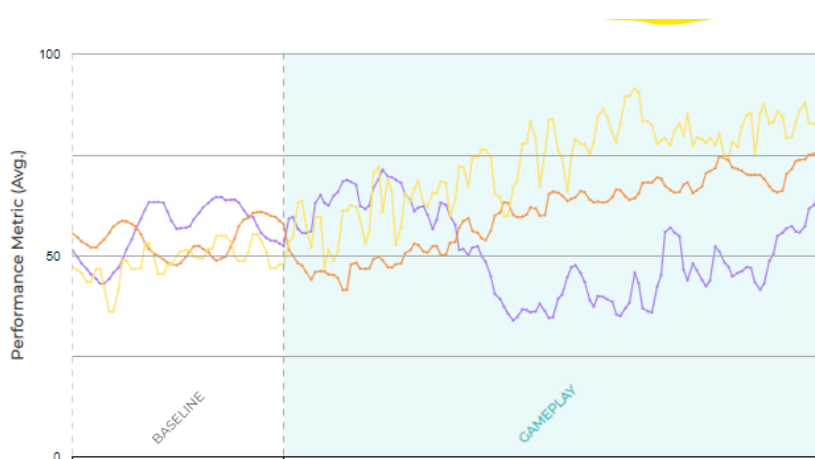
- 1) точності та вчасності відповідей;
- 2) типи помилок;
- 3) когнітивні показники;

---

<sup>17</sup> Мала психологічна група. При цьому визначаються цільові показники за описом ідеалу розуму або мозку (див. розділ 2)

4) суб'єктивна оцінка режиму роботи (задоволеність).

Детальні результати орієнтовної динаміки наведені у додатку В, рекомендації до врахування індивідуальних різниці – у додатку Г. На рисунках 3.7.-3.8 наведено контрольні тестові показники прикладного завдання до (6 тиждень) та після (10 місяць) тренування [102].



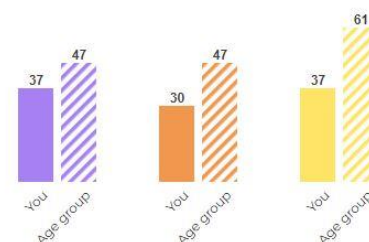
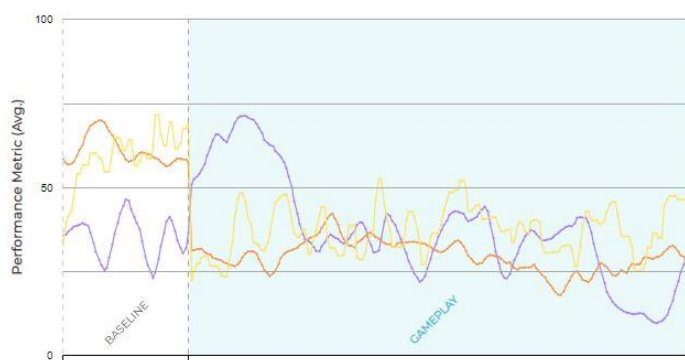
#### Performance Metrics This Session

Your session in detail

Click through the phases to see averages in each metric.

Average levels during **gameplay**

Your results vs your age group (30-39) results.



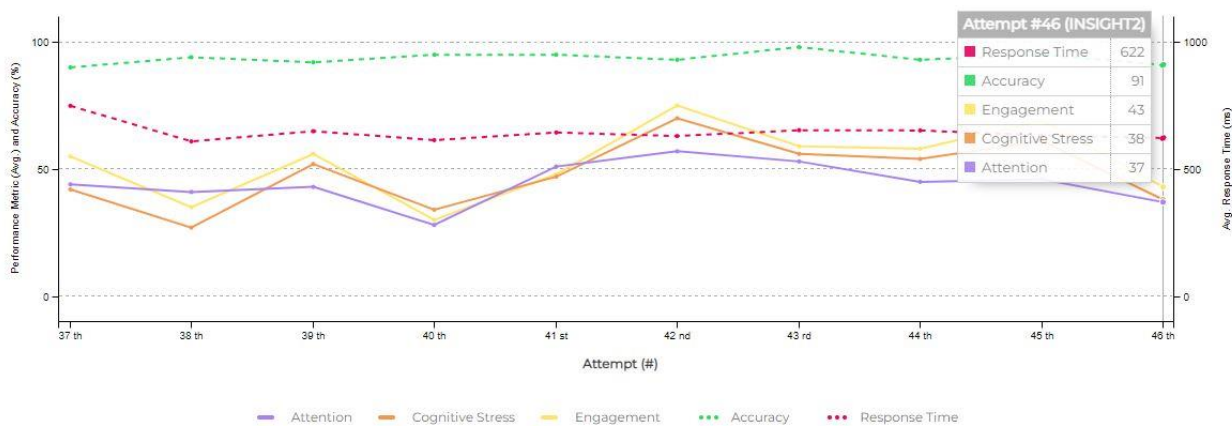
— Attention — Cognitive Stress — Engagement

Рисунок 3.7. Показники контролю уваги та когнітивного стресу до та після застосування стратегії.

## Performance Metrics and Behavioral Performance Over Time

### Your progress in detail

Your progress over past attempts, recorded during Gameplay.

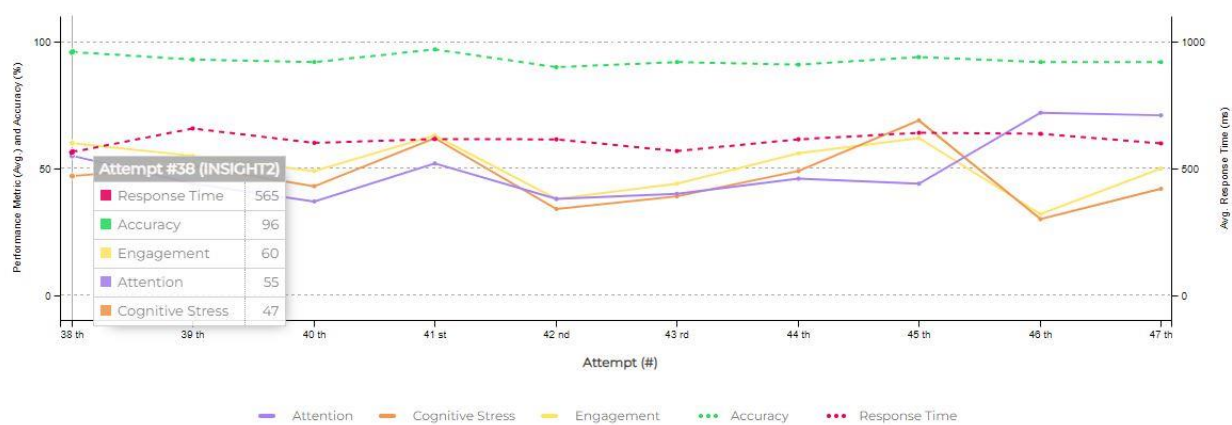


## Прикладний тест (4-7 місяці)

## Performance Metrics and Behavioral Performance Over Time

### Your progress in detail

Your progress over past attempts, recorded during Gameplay.



## Тест Струпа (5-10 місяці)

Рисунок 3.8. Динаміка когнітивних показників тренування.

### Висновки до 3 розділу

У третьому розділі запропоновано вирішуюче правило для гібридної системи підтримки прийняття рішень на основі функції оцінки втрат запропоновано інформаційну технологію зменшення впливу когнітивних, що забезпечує ефективніше підвищення точності прийняття рішень в умовах дії когнітивних упереджень. Модифікація дозволяє знижувати вплив когнітивних упереджень на прийняття рішень шляхом підкріплення нейроосвітньої стратегії (підвищення контролю уваги на 17%, зменшення когнітивного стресу на 12%), має нижчий ризик помилки (р-величина 0,035).

Систему можна використовувати як підкріплення засобів підтримки ментального здоров'я та оптимізації професійної діяльності. Підсилення контролю уваги 14%, зосередженості 12%, зменшення когнітивного стресу 8%. Закріплення досягнутого рівня нейросигналу та нейрограмотності протягом 3 місяців для елементарних завдань, 6 місяців для складних, 9 для розвитку адаптивності. Користувачі здобувають (обов'язково) 1 або 2 рівень нейрограмотності, підвищують якість нейросигнал 7% протягом 9 місяців тренувань (тривалість і якість утримання стану ментального зусилля, контролю «поток» та емоцій). Впровадження систем виконується відповідно до рекомендацій і обмежень виробників устаткування та розробників програмного забезпечення.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено результати дослідження зменшення впливу когнітивних упереджень при прийнятті рішень в нейроосвітніх середовищах.

У першому розділі було проведено аналіз попередніх досліджень проблеми і виявлено протиріччя наявних методів та достатніх вимог об'єктивності результатів. Недоліки існуючих методів зменшення впливу когнітивних упереджень такі як недостатня узгодженість методів, обмеженість досліджень, висока та недопустима ймовірність помилки виявлення когнітивних упереджень ( $p$ -величина перевищує значення 0.05 у ряді досліджень) сформуvalи необхідність розробити інформаційну технологію нейроосвітньої стратегії зменшення впливу когнітивних упереджень, що забезпечить вищу точність досліджень та знизить ризик помилки (наукове завдання). За попередньою оцінкою за рахунок врахування індивідуальної різниці, універсалізації методів (одночасний моніторинг визначених показників та кількох типів когнітивних упереджень), використання нейро-нечітких мереж аналізу даних можливе прогнозоване підвищення точності до 13% (перший науковий результат).

У другому розділі було вдосконалено метод оцінювання показників когнітивних метрик і впливу когнітивних упереджень за вразливим показником, що забезпечило підвищення узгодженості моделі та підвищення точності результатів застосування нейроосвітньої стратегії.

Для оцінювання ефективності результатів було вдосконалено метод порівняння моделей відстеження когнітивних упереджень за рахунок використання результатів комплексного аналізу об'єктивності отриманої інформації, що дозволяє оцінити прогнозовану ефективність моделей за визначеними показниками, враховуючи індивідуальну різницю когнітивних показників (третій науковий результат).

За результатами порівняння двох моделей зменшення впливу когнітивних упереджень було визначено, що модель на основі тренування вразливих показників забезпечує низький ризик помилки визначення впливу когнітивних упереджень ( $p$ -величина 0,035) порівняно із першою (на основі машинного навчання на зразках електроенцефалограми,  $p$ -величина 0,07-0,045). Додатковими перевагами моделі є зручність застосування та вища узгодженість (83-87%), що забезпечує універсальність оцінки впливів когнітивних попереджень та вищу точність оцінки їх зменшення впливу, адаптивність до постійних змін модальностей свідомості, може розвиватися та змінюватися відповідно до завдань подальших досліджень. Недоліком моделі є тривалість періодів тренування (від 6 місяців), високі вимоги до кандидатів (рівень нейрограмотності), чутливість до суттєвих змін стану когнітивної системи (наприклад під дією стресу). Вирішення даної проблеми є перспективним напрямом подальшого дослідження теми.

У третьому розділі вперше запропоновано вирішуюче правило на основі функції втрат для системи підтримки рішень, що забезпечує ефективніше зменшення впливу когнітивних упереджень за допомогою моделі тренування вразливих показників та дозволяє знижувати вплив когнітивних упереджень на прийняття рішень шляхом підкріплення нейроосвітньої стратегії (підвищення контролю уваги на 17%, зменшення когнітивного стресу на 12%), має нижчий ризик помилки ( $p$ -величина 0,035) (четвертий науковий результат).

Подальші дослідження теми можуть включати розширення області застосування інформаційної технології та її диференціацію за видом діяльності (наприклад, водіння транспортного засобу), розробку та інтеграцію користувацьких додатків моніторингу та оптимізації когнітивних показників, покращення ергономіки розумних середовищ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Brunner, C., et al. (2015) BNCI Horizon 2020: towards a roadmap for the BCI community. URL: <http://bnci-horizon-2020.eu/roadmap>
2. Leslie, D., Burr, C., Aitken, M., Cows, J., Katell, M., and Briggs, M. (2021). Artificial intelligence, human rights, democracy, and the rule of law: a primer. The Council of Europe.
3. Libo Yang. (2020) Exploring the Formalization of Brain Cognition in the Age of Artificial Intelligence. Springer. Smart Innovation, Systems and Technologies.
4. Jensen A. Clocking the Mind: Mental Chronometry and Individual Differences. Elsevier, 2006. 286 p.
5. Ceschi, A., Dimensions of decision-making: An evidence-based classification of heuristics and biases. Personality and Individual Differences (2018) [Electronic Source] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.paid.2018.07.03>
6. Mudrik L. et all. Free will without consciousness? Trends in Cognitive Sciences, Volume 26, Issue 7, 2022, P. 555-566
7. Jeff Hawkins (2004) On Intelligence. Henry Holt and Company, 261 p.
8. Benzoni, William L., Lust in Action: An Abstraction (1981). Language and Style, Vol. 18, pp. 251-270
9. Baars B. J., A Cognitive Theory of Consciousness, USA, MA, Cambridge:Cambridge Univ. Press, 1988.
10. Joseph Lee Rodgers; W. Alan Nicewander. Thirteen Ways to Look at the Correlation Coefficient. The American Statistician, Vol. 42, No. 1. (Feb., 1988), pp. 59-66.
11. Laport, Francisco Vazquez-Araujo, Francisco Castro-Castro, Paula-Maria Dapena, Adriana. (2018). Brain-Computer Interfaces for Internet of Things. Proceedings. 2. 1179. 10.3390/proceedings2181179.
12. Nijholt, Anton. (2014). Competing and Collaborating Brains: Multi-Brain Computer Interfacing.

13. Tamas Madl, Bernard J. Baars, Stan Franklin (2011). The Timing of the Cognitive Cycle. [Electronic Source] Available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0014803>
14. Joseph Lee Rodgers; W. Alan Nicewander. Thirteen Ways to Look at the Correlation Coefficient. *The American Statistician*, Vol. 42, No. 1. (Feb., 1988), pp. 59-66.
15. Kaimara, Polyxeni, Antonia Plerou, and Ioannis Deliyannis. "Cognitive Enhancement and Brain-Computer Interfaces: Potential Boundaries and Risks." *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 1194, 2020, pp. 275-283.
16. Heersmink, Richard. "Embodied Tools, Cognitive Tools and Brain-Computer Interfaces." *Neuroethics*, vol. 6, 2013, pp. 207-219.
17. Allison, Brendan Z., et al. "Recent and Upcoming BCI Progress: Overview, Analysis, and Recommendations." *Towards Practical Brain-Computer Interfaces*, Springer, 2012.
18. Vences, Natalia Abuín, et al. "Neuromarketing as an Emotional Connection Tool Between Organizations and Audiences in Social Networks: A Theoretical Review." *Frontiers in Psychology*, vol. 11, 2020.
19. Rawnaque, Ferdousi Sabera, et al. "Technological Advancements and Opportunities in Neuromarketing: A Systematic Review." *Brain Informatics*, vol. 7, 2020.
20. Михальчук В. Огляд сучасних інструментів підвищення якості користувацьких нейро-комп'ютерних інтерфейсів. «Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень» (Київ) 17-18.11.2022
21. EMOTIV. Brain Data Measuring Hardware and Software Solutions. [Electronic Source] Available at: <https://www.emotiv.com/>
22. g.tec. Brain-computer interface & Neurotechnology. [Electronic Source] Available at: <https://www.gtec.at/>

23. N. P. Tmienova and B. B. Sus. Technologies improving for knowledge and skills assessing of students of physical and mathematical specialities in e-learning, *ITLT*, vol. 78, no. 4, pp. 163–176, Sep. 2020.
24. Mykhalchuk, V. (2022). Brain-computer interfacing prospects in e-society. *Management of Development of Complex Systems*.
25. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Paliy, S., Biloshchytska, S., Bronin, S., Andrashko, Yu., Biloshchytska, S., Shabala, Ye., & Vatskel, V. (2018). Development of technical component of the methodology for projectvector management of educational environments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(2(92)), 4-13. doi:10.15587/1729-4061.2018.126301
26. Hnatiienko, H., Snytyuk V., “A posteriori determination of expert competence under uncertainty.” *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (2019).
27. Hnatiienko, H., Snytyuk, V., Tmienova, N., & Voloshyn, O. (2020). Application of Expert Decision-making Technologies for Fair Evaluation in Testing Problems. *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*.
28. Yang, YY., Hwang, A.H.C., Wu, C.T. et al. Person-identifying brainprints are stably embedded in EEG mindprints. *Sci Rep* 12, 17031 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21384-0>
29. Jayarathne, I., Cohen, M., & Amaraakeerthi, S. “Person identification from EEG using various machine learning techniques with inter-hemispheric amplitude ratio.” *PLoS ONE*, vol. 15, no. 9, 2020, e0238872. DOI: 10.1371/journal.pone.02388
30. Михальчук В., Дружинін В. Упередженість розуму в нейрокомп'ютерних дослідженнях (до проблеми розширення свідомості та формування досвіду). Перша всеукраїнська наукова конференція «Когнітивні дослідження: результати, виклики та перспективи». 24 травня 2024 р., Київ, Україна

31. López-Silva, Pablo, and Luca Valera, editors. *Protecting the Mind: Challenges in Law, Neuroprotection, and Neurorights*. Springer International Publishing, 2023.
32. Nam, Chang S., Anton Nijholt, and Fabien Lotte, editors. *Brain–Computer Interfaces Handbook: Technological and Theoretical Advances*. 1st ed., CRC Press, 2018.
33. *Imagerie Cérébrale: Enjeux Épistémologiques, Éthiques Et Politiques*, Espace Ethique d'Ile de France, 2017. 97p.
34. Park Sang-Eon et al. Digital Assessment of Cognitive-Affective Biases Related to Mental Health. *PLOS Digital Health*, vol. 1, no. 1, 2024, article e0000595, <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000595>.
35. Schreiner, Leonhard, et al. "Mapping of the Central Sulcus Using Non-Invasive Ultra-High-Density Brain Recordings." *Scientific Reports*, vol. 14, no. 6527, 19 Mar. 2024, doi:10.1038/s41598-024-57167-y.
36. Wang, Xiashuang, et al. "A Survey of the BCI and Its Application Prospect." *Theory, Methodology, Tools and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems*, Springer, 2016, pp. 102-111.
37. Mykhalchuk, V. Cognitive Design of Educational Brain-Computer Interfaces. *ITAAP-2022 CEUR Workshop Proceedings*, vol. 3309, 2022, 1. DOI: 10.1007/978-3-319-64274-1\_8.
38. Maiseli, Baraka, et al. "Brain–Computer Interface: Trend, Challenges, and Threats." *Brain Informatics*, vol. 10, 2023, article 20.
39. Fazel-Rezai, Reza, ed. "Brain-Computer Interface Systems - Recent Progress and Future Prospects." *IntechOpen*, 2013.
40. Heersmink, Richard. "Embodied Tools, Cognitive Tools and Brain-Computer Interfaces." *Neuroethics*, vol. 6, 2013, pp. 207-219.
41. Korteling, J. E., Gerritsma, J. Y. J., & Toet, A. (2021)1. Retention and transfer of cognitive bias mitigation interventions: A systematic literature study23. *Frontiers in Psychology*, 12, 629354. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.629354>

42. Jolles, Jelle, and Dietsje D. Jolles. "On Neuroeducation: Why and How to Improve Neuroscientific Literacy in Educational Professionals." *Frontiers in Psychology*, vol. 12, 2021.
43. Ansari, Daniel, Bert De Smedt, and Roland H. Grabner. "Neuroeducation – A Critical Overview of An Emerging Field." *Neuroethics*, vol. 5, 2012, pp. 105-117.
44. "Neuroeducation." *Neuroeducation Journal*, Association for Research in Neuroeducation, 2012-2023.
45. Rawnaque, Ferdousi Sabera, et al. "Technological Advancements and Opportunities in Neuromarketing: A Systematic Review." *Brain Informatics*, vol. 7, 2020.
46. Vences, Natalia Abuín, et al. "Neuromarketing as an Emotional Connection Tool Between Organizations and Audiences in Social Networks: A Theoretical Review." *Frontiers in Psychology*, vol. 11, 2020.
47. Khondakar, Md. Fazlul Karim, et al. "A Systematic Review on EEG-Based Neuromarketing: Recent Trends and Analyzing Techniques." *Brain Informatics*, vol. 11, 2024.
48. Martin, Stewart. "Measuring Cognitive Load and Cognition: Metrics for Technology-Enhanced Learning." *Educational Research and Evaluation: An International Journal on Theory and Practice*, vol. 20, no. 7-8, 2014, pp. 592-621.
49. Padilla, Lace M., et al. "Decision Making with Visualizations: A Cognitive Framework Across Disciplines." *Cognitive Research: Principles and Implications*, vol. 3, 2018.
50. "Articles | Cognitive Research: Principles and Implications." *Cognitive Research Journal*, SpringerOpen, 2025.
51. Tmienova N., Mykhalchuk V. Brain-Computer Interface as Tool of Cognitive Optimization (Case of Biases Reducing in Decision-Making and Control Improvement). *IntSol-2023 CEUR Workshop Proceedings*, vol. 3309, 2023, 1. DOI: 10.1007/978-3-319-64274-1\_8.

52. Lin, Ping-Ju, et al. "CNN-Based Prognosis of BCI Rehabilitation Using EEG from First Session BCI Training." ResearchGate, 2021.
53. Allison, Brendan Z., et al. "Recent and Upcoming BCI Progress: Overview, Analysis, and Recommendations." *Towards Practical Brain-Computer Interfaces*, Springer, 2012.
54. Medina, Ana Sophia Angulo, et al. "Electroencephalography-Based Brain-Computer Interfaces in Rehabilitation: A Bibliometric Analysis (2013–2023)." *Sensors*, vol. 24, no. 22, 2024.
55. Mykhalchuk V. Evaluation of cognitive biases in brain-computer interfaces. *IT&Is-2022*.
56. Siritzky M. Emma. Standard Experimental Paradigm Designs and Data Exclusion Practices in Cognitive Bias Research. *Cognitive Research: Principles and Implications*, vol. 8, no. 1, 2023, article 520, <https://doi.org/10.1186/s41235-023-00520-y>.
57. A Review on Evaluating Mental Stress by Deep Learning Using EEG Signals. *Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference 'Information Systems and Technology: Results and Prospects' (IST 2024)*, 2024, pp. 45-56.
58. An Evaluation of Mental Workload with Frontal EEG. *PLOS ONE*, vol. 12, no. 4, 2017, article e0174949, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174949>.
59. Mental Workload Monitoring: New Perspectives from Neuroscience. *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering*, edited by Hasan Ayaz and Umer Asgher, Springer, 2020, pp. 1-12, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32423-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32423-0_1).
60. Дружинін В.А., Михальчук В.В. Пригнічення когнітивних упереджень під час ідентифікації особи та її наміру в нейро-комп'ютерних системах. *Вісник Військового інституту Київського національного університету ім.Тараса Шевченка*. (2025) с.91-105.

61. Real-Time Mental Workload Estimation Using EEG. *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering*, edited by Hasan Ayaz and Umer Asgher, Springer, 2020, pp. 13-24, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32423-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32423-0_2).
62. The risks and challenges of neurotechnologies for human rights. Paris : UNESCO, 2023. 51p. Electronic source: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384185>
63. Nam, Chang & al. (2018). *Brain-Computer Interfaces Handbook: Technological and Theoretical Advances*. 284 p.
64. Dornhege, G. *Toward Brain-Computer Interfacing*. MIT Press, 2007. 520 p.
65. Kahneman, D., & Tversky, A. (2000). *Choices, Values, and Frames*. 840 p.
66. Venturella, I., Fronda, G., Vanutelli, M. E., Balconi, M. Neuromanagement and leadership: an EEG hyperscanning study, Poster, in Proceedings of the "SEPEX – SEPNECA – AIP experimental Joint Conference", (Madrid, 03-06 July 2018), Fundación UNED, Madrid (2018): 64-64 <http://hdl.handle.net/10807/131920>.
67. Mykhalchuk, V. (2022). Prospects overview of hybrid brain-computer interface for increasing efficiency of research activity. First International Conference "Open Science and Innovation in Ukraine 2022".
68. Timothy K. Lam, Oshin Vartanian, Justin G. Hollands. The brain under cognitive workload: Neural networks underlying multitasking performance in the multi-attribute task battery, *Neuropsychologia*, Volume 174 (2022).
69. Leslie, D., Burr, C., Aitken, M., Cows, J., Katell, M., and Briggs, M. (2021). *Artificial intelligence, human rights, democracy, and the rule of law: a primer*. The Council of Europe.
70. Libo Yang. (2020) *Exploring the Formalization of Brain Cognition in the Age of Artificial Intelligence*. Springer. Smart Innovation, Systems and Technologies.
71. Kaczmarek, J. (2019). *Formalization of Cognition Process as an Additional Component Responsible for Development of Theoretical Physics*. East

- European Journal of Physics, (2), 75-112. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2019-2-12>
72. Mykhalchuk V., Druzhynin V. Targeting the mind in challengeable conditions of biased nature of performance (preliminary results on individual experience) 1st ITS Conference. 2024
73. Zhang, Zhimin & Yin, Rui & Ning, Huansheng. (2022). Internet of Brain, Thought, Thinking, and Creation. Chinese Journal of Electronics.
74. Lahav, Nir & Neemeh, Zachariah. (2022). A Relativistic Theory of Consciousness. *Frontiers in Psychology*.
75. Fulbright, Ron & Walters, Grover. (2020). *Synthetic Expertise*.
76. Busemeyer, J., & Bruza, P. (2012). *Quantum Models of Cognition and Decision*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511997716
77. Morin E. (1983) *Science with consciousness*
78. Dehaene, S. (2014). *Consciousness and the brain: Deciphering how the brain codes our thoughts*. Viking.
79. van Gaal, Simon, et al. "The Role of Consciousness in Cognitive Control and Decision Making." *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 6, 2012.
80. Parr, Thomas, and Karl J. Friston. "The Anatomy of Inference: Generative Models and Brain Structure." *Frontiers in Computational Neuroscience*, vol. 12, 2018.
81. Friston, Karl, et al. "Active Inference and Learning." *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 68, 2016, pp. 862-879.
82. Zhang, Zhengquan, and Feng Xu. "An Overview of the Free Energy Principle and Related Research." *Neural Computation*, vol. 36, no. 5, 2024, pp. 963-1021.
83. 80. Михальчук В. Оцінювання об'єктивності зменшення впливу когнітивних упереджень у нейроосвітній стратегії із виділенням вразливих показників. (2025) *Вісник Хмельницького національного університету (технічні науки)*.

84. Heersmink, Richard. "Embodied Tools, Cognitive Tools and Brain-Computer Interfaces." *Neuroethics*, vol. 6, 2013, pp. 207-219.
85. Allison, Brendan Z., et al. "Recent and Upcoming BCI Progress: Overview, Analysis, and Recommendations." *Towards Practical Brain-Computer Interfaces*, Springer, 2012.
86. Lin, Ping-Ju, et al. "CNN-Based Prognosis of BCI Rehabilitation Using EEG from First Session BCI Training." *ResearchGate*, 2021.
87. Medina, Ana Sophia Angulo, et al. "Electroencephalography-Based Brain-Computer Interfaces in Rehabilitation: A Bibliometric Analysis (2013–2023)." *Sensors*, vol. 24, no. 22, 2024.
88. Marakas, George M., and James O. Brien. "Decision Support Systems in the 21st Century." Pearson, 2021.
89. Power, Daniel J. "Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers." Greenwood Publishing Group, 2020.
90. Turban, Efraim, et al. "Decision Support and Business Intelligence Systems." Pearson, 2022.
91. Shim, J. P., et al. "Past, Present, and Future of Decision Support Technology." *Decision Support Systems*, vol. 125, 2023, pp. 1-12.
92. Mykhalchuk V., Kychansky A. Brain-computer interfaces and education. *IT&Is-2022*.
93. Arnott, David, and Graham Pervan. "A Critical Analysis of Decision Support Systems Research." *Journal of Information Technology*, vol. 37, no. 2, 2022, pp. 123-145.
94. Sprague, Ralph H., and Eric D. Carlson. "Building Effective Decision Support Systems." Prentice Hall, 2021.
95. Keen, Peter G. W., and Michael S. Scott Morton. "Decision Support Systems: An Organizational Perspective." Addison-Wesley, 2020.
96. Thamrin, Ismail. "Neuro-Fuzzy Hybrid Systems: ANFIS Overview." *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 2021.

97. Vaswani, Sangita Lalchand, et al. "Research of Cooperative Decision-Making Based on Hybrid Neuro-Fuzzy System." *International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER)*, 2023.
98. Qazi, Sahar, Naiyar Iqbal, and Khalid Raza. "Fuzzy Logic-Based Hybrid Models for Clinical Decision Support Systems in Cancer." *Computational Intelligence in Oncology*, Springer, 2022.
99. Mammadova, Kifayat. "Empirical Examples Based on Neuro-Fuzzy Systems." *InterConf*, 2023.
100. Thakur, Amey. "Neuro-Fuzzy: Artificial Neural Networks & Fuzzy Logic." *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 2021.
101. Siddique, Asad Ali, et al. "Exploration of the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Architecture and its Applications." *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 2023.
102. Михальчук В. Система когнітивної оптимізації розумного освітнього середовища із нейро-комп'ютерним модулем. Науковий марафон «Об'єднані наукою». КНУ ім. Т.Шевченка. Постерна доповідь. 2022 р.

## ДОДАТОК А

## ОРІЄНТОВНИЙ РОЗПОДІЛ ІНВЕТОРІВ У БУЛЬБАШЦІ НЕРУХОМОСТІ В США 2007-2008 РОКІВ ЗА ПРОФЕСІЄЮ, ОСВІТОЮ, ПРИЧИНОЮ ІНВЕСТИЦІЙ ТА ВІКОМ

Категорія	Відсоток (%)	Кількість (млн)	Примітки
<b>Професія</b>			
Фінансові аналітики	15	1.5	Професійні інвестори з досвідом у фінансовій сфері
Підприємці	20	2.0	Власники бізнесу, які інвестували в нерухомість
ІТ-спеціалісти	10	1.0	Професіонали з ІТ-сфери, які шукали додаткові джерела доходу
Медичні працівники	10	1.0	Лікарі, медсестри та інші медичні працівники
Освітняни	5	0.5	Вчителі, викладачі та інші працівники освіти
Інші професії	40	4.0	Інші професії, включаючи робітників, службовців тощо
<b>Освіта</b>			
Вища освіта	60	6.0	Інвестори з вищою освітою
Середня освіта	30	3.0	Інвестори з середньою освітою
Без освіти	10	1.0	Інвестори без формальної освіти
<b>Причина інвестицій</b>			
Необхідність	40	4.0	Інвестори, які вкладали гроші через необхідність
Просте рішення	60	6.0	Інвестори, які вкладали гроші як просте рішення для отримання прибутку
<b>Вік</b>			
Молодь (до 30 років)	20	2.0	Молоді інвестори, які шукали можливості для швидкого збагачення
Середній вік (30-50 років)	50	5.0	Інвестори середнього віку з досвідом у різних сферах
Старший вік (понад 50 років)	30	3.0	Старші інвестори, які шукали стабільні джерела доходу

## ДОДАТОК Б

## ДОСЛІДЖЕНІ ФАКТОРИ СУБ'ЄКТИВНОГО ВПЛИВУ

Суб'єктивний ефект	Опис	Частота для ситуацій	Вплив на раціональність
Ілюзія кластерів	Схильність бачити закономірності у випадкових даних	0.5	0.7
Омана базового відсотку	Ігнорування загальної ймовірності події	0.8	0.9
Ефект <i>presque vu</i>	Важко згадати відповідь	0.2	0.6
Фреймінг	Вплив формулювання чи контексту на прийняття рішень	0.8	0.8
Якорування	Покладання на першу отриману інформацію для прийняття рішень	0.8	0.9
Ефект надмірної самовпевненості	Переоцінка власних знань чи здібностей	0.8	0.9
Парейдолія	Розпізнавання знайомих образів у випадкових формах	0.5	0.6
Нечутливість до розмірності	Ігнорування значення вибірки чи її розміру	0.8	0.8

## ДОДАТОК В

**Перелік обмежень зменшення впливу когнітивних упереджень в нейроосвітніх інтерфейсах, розділений на категорії з відповідними показниками:**

Категорія	Обмеження	Показники	Орієнтовні дані	Рекомендації
Медичні	Вплив на здоров'я	Частота побічних ефектів	5-10% користувачів	Регулярний медичний моніторинг, забезпечення безпеки
Психологічні	Емоційний стрес	Рівень стресу	Високий у 20% користувачів	Психологічна підтримка, зниження стресових факторів
Етичні	Конфіденційність даних	Витік даних	1-2 випадки на рік	Захист даних, дотримання етичних норм
Технологічні	Точність вимірювань	Відхилення в даних	2-5% похибки	Використання сучасних технологій, калібрування обладнання
Ергономічні	Зручність використання	Час адаптації	1-2 тижні	Оптимізація дизайну, навчання користувачів

## ДОДАТОК Г

ЗРАЗКОВІ ДАНІ, ЯКІ МОЖУТЬ БУТИ ВИКОРИСТАНІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ  
СИМУЛЬОВАНОГО НАБОРУ ДАНИХ У MATLAB EEGLAB:

Параметр	Опис	Середні значення
<b>Смуги потужності</b>	Інтенсивності частотних смуг для оцінки уваги, пам'яті, стресу та мотивації	Альфа: 10-12 мкВ <sup>2</sup> , Бета: 8-10 мкВ <sup>2</sup> , Гамма: 5-7 мкВ <sup>2</sup>
<b>ERP</b>	Потенціали, пов'язані з подіями (наприклад, P300 для уваги)	Амплітуда: 5 мкВ, затримка: 300 мс
<b>Затримка реакції</b>	Час між стимулом і реакцією	Від 200 до 600 мс
<b>Професійні завдання</b>	Завдання з вибором кращої опції на основі опису та графіків	Точність: 80%, Середній час: 30 сек
<b>Когнітивні завдання</b>	Результати тесту Струпа (суперечність кольору й тексту)	Помилки: 3/20, Середній час реакції: 400 мс
	Результати матриць Равена (логічне мислення)	Вірні відповіді: 9/12
<b>Фоновий стимул</b>	Нейтральна музика або шум для нормалізації когнітивного стану	Витримана музика 60-70 дБ SPL
<b>Типи особистості</b>	Інтроверти (I), екстраверти (E), відчуваючі (S), інтуїтивні (N), думаючі (T), відчуваючі (F), судячі (J), спостерігаючі (P)	Смуги частот, затримки, (Див. Додаток К)

**ДОДАТОК Д**  
**РЕКОМЕНДОВАНІ ВИМОГИ ДО УЧАСНИКІВ НЕЙРООСВІТНЬОЇ**  
**ПРОГРАМИ**

<b>Категорія</b>	<b>Рекомендації</b>	<b>Показники</b>	<b>Орієнтовні дані</b>
Підготовка	Забезпечити належний рівень підготовки учасників до експерименту	Час підготовки, рівень знань	2-4 тижні, середній рівень знань
Здоров'я	Регулярний медичний моніторинг учасників	Частота медичних оглядів, показники здоров'я	Щомісяця, нормальні показники
Психологічна підтримка	Забезпечити психологічну підтримку учасників	Рівень стресу, емоційний стан	Низький рівень стресу, стабільний емоційний стан
Конфіденційність	Захист даних учасників	Кількість витоків даних, рівень захисту	0 випадків, високий рівень захисту
Технологічна підтримка	Забезпечити надійність технічного обладнання	Частота технічних збоїв, рівень надійності	Мінімальна, висока надійність
Зручність використання	Оптимізація дизайну інтерфейсу	Час адаптації, рівень задоволеності користувачів	1-2 тижні, високий рівень задоволеності
Демографічні дані	Врахування віку, статі, освіти, шульга/правша	Вік, стать, освіта, шульга/правша	18-65 років, чоловіки та жінки, вища освіта, 20% шульги
Дієта	Контроль дієти учасників	Тип дієти, споживання калорій	Збалансована дієта, 2000-2500 калорій на день, обмеження вживання алкоголю або енергетичних напоїв (до 0,2 ‰)
Тривалість сну	Моніторинг сну учасників	Години сну, якість сну	Не менше 7 годин на добу, не менше 2,75 годин глибокого сну
Рівні стресу	Оцінка рівнів стресу учасників	Рівень стресу	Низький рівень стресу
Рівні задоволення	Оцінка рівнів задоволення учасників	Рівень задоволення	Високий рівень задоволення

## ДОДАТОК Е

### Суб'єктивний опитувальник для зменшення впливу когнітивних упереджень

1. Чи маєте ви попередній досвід або знання щодо теми, яку ви зараз оцінюєте? Так/ Ні
2. Чи ви вважаєте, що ваші попередні знання можуть вплинути на ваше теперішнє рішення? Так / Ні
3. Наскільки впевнено ви почуваетесь щодо вашого рішення? (за шкалою від 1 до 5): 1 (Зовсім не впевнений), 2 (Трохи не впевнений), 3 (Нейтрально), 4 (Досить впевнений), 5 (Цілком впевнений)
4. Чи розглядали ви альтернативні точки зору перед тим, як зробити своє рішення? Так / Ні
5. Наскільки ви вважаєте, що ваші особисті переконання або упередження могли вплинути на ваше рішення? (від 1 до 5): 1 (Не вплинули), 2 (Слабо вплинули), 3 (Нейтрально), 4 (Відчутно), 5 (Сильно вплинули)
6. Чи маєте ви схильність до пошуку інформації, яка підтверджує ваші попередні переконання? Так / Ні
7. Чи ви врахували можливість того, що ви могли помилитися у своєму рішенні? Так / Ні
8. Чи використали ви об'єктивні дані або факти для підтримки вашого рішення? Так / Ні
9. Чи обговорювали ви своє рішення з іншими людьми, які мають інший погляд на проблему? Так / Ні
10. Чи ви готові змінити своє рішення на основі нової інформації або аргументів? Так / Ні

## ДОДАТОК Ж

### ПСЕВДОКОД МОДЕЛЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РІЗНИЦІ

```
python
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from skfuzzy import control as ctrl

# Підготовка вхідних даних для навчання моделі
X = epochs_data
y = np.load('response_delay.npy') # Дані про затримку відповіді

model = RandomForestRegressor()
model.fit(X, y)

# Нечітка логіка для врахування невизначеностей
response_delay = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 11, 1), 'response_delay')
cognitive_load = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 11, 1), 'cognitive_load')
correction_factor = ctrl.Consequent(np.arange(0, 11, 1), 'correction_factor')

response_delay.automf(3)
cognitive_load.automf(3)

rule1 = ctrl.Rule(response_delay['poor'] & cognitive_load['poor'],
correction_factor['poor'])
rule2 = ctrl.Rule(response_delay['average'] & cognitive_load['average'],
correction_factor['average'])
rule3 = ctrl.Rule(response_delay['good'] & cognitive_load['good'],
correction_factor['good'])

response_ctrl = ctrl.ControlSystem([rule1, rule2, rule3])
response_sim = ctrl.ControlSystemSimulation(response_ctrl)

# Приклад використання моделі
response_sim.input['response_delay'] = 5
response_sim.input['cognitive_load'] = 7
response_sim.compute()

print(response_sim.output['correction_factor'])
```

## ДОДАТОК 3

ОРІЄНТОВАНА ДИНАМІКА ПОКАЗНИКІВ ТРЕНУВАННЯ  
КОГНІТИВНОГО КОНТРОЛЮ В ПРОЕКТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

Період	Рівень підготовки	Типи завдань	Ситуації	Показники	Приріст точності прийняття рішень
0-3 місяці	Початковий	Простий аналіз даних, базові рішення	Лабораторні умови	Рівень знань, частота помилок	+5-7%
3-6 місяці	Середній	Комплексний аналіз, прийняття тактичних рішень	Реальні умови	Точність аналізу, час на прийняття рішень	+5-10%
6-9 місяці	Високий	Стратегічне планування, вирішення проблем	Складні умови	Тривалість фокусу, креативність рішень	+7-10%
9-12 місяці	Просунутий	Інноваційні підходи, розробка нових стратегій	Високо-напружені умови	Глибина аналізу, рівень інновацій	+10-12%

### Деталізовані показники за етапом підготовки (у місяцях)

Т.	Рівень підготов.	Типи завдань	Рівні ситуацій	Приріст точності прийняття рішень	Утримання стану потоку	Зниження когнітивного стресу	Утриман. уваги	Розвиток пам'яті	Підвищення. Задовол. і мотивації	Рівень нейрогр.	Нейросигн.
1-3	Початковий	Простий (вивчення основних концепцій, виконання стандартних вправ)	Легкий (контрольоване середовище, мало відволікаючих факторів)	5% (за дослідженнями, початковий етап часто демонструє приріст на 5-7%)	Низький (невелика кількість задач, низька інтенсив.)	Помірне (початковий рівень стресу)	Низьке (необхідн. Концентр. на новій інформації)	Початковий (основна інформація)	Помірне (початкова мотивація)	Низький (вивчення основ)	Низький (початкова активність)
4-6	Середній	Середній (комплексні завдання, проектна робота)	Помірний (реальні ситуації, з більшою кількістю відволікаючих факторів)	7% (приріст точності прийняття рішень може досягати 5-10%)	Помірний (середня кількість задач, помірна інтенсив.)	Середнє (адаптація до стресових ситуацій)	Помірне (покращення здатності утримання уваги)	Середній (закріплення вивченої інформації)	Середнє (підвищення мотивації)	Помірний (розширення знань)	Середній (підвищення активності)
7-9	Високий	Складний (робота в умовах невизначено)	Складний (інтенсивні ситуації, багато)	9% (можливий приріст точності на 7-10%)	Високий (висока кількість задач,	Низьке (стійкість до стресу)	Високе (висока здатність утримання уваги)	Високий (глибоке запам'ятовув.)	Високе (висока мотивація)	Високий (високий рівень знань)	Високий (висока активність)

		сті, складні проекти)	відволікаючих факторів)		висока інтенсив.)						
10-12	Експертний	Дуже складний (інноваційні завдання, розвиток нових підходів)	Дуже складний (екстремальні ситуації, максимальна кількість відволікаючих факторів)	8% (за дослідженнями, приріст точності може перевищувати 10%)	Дуже високий (максимальна кількість задач, дуже висока інтенсивн.)	Дуже низьке (дуже висока стійкість до стресу)	Дуже високе (майже повна здатність утримання уваги)	Експертний (повне запам'ятовув.)	Дуже високе (дуже висока мотивація)	Дуже високий (експертний рівень знань)	Дуже високий (максимальна активність)

## ДОДАТОК К

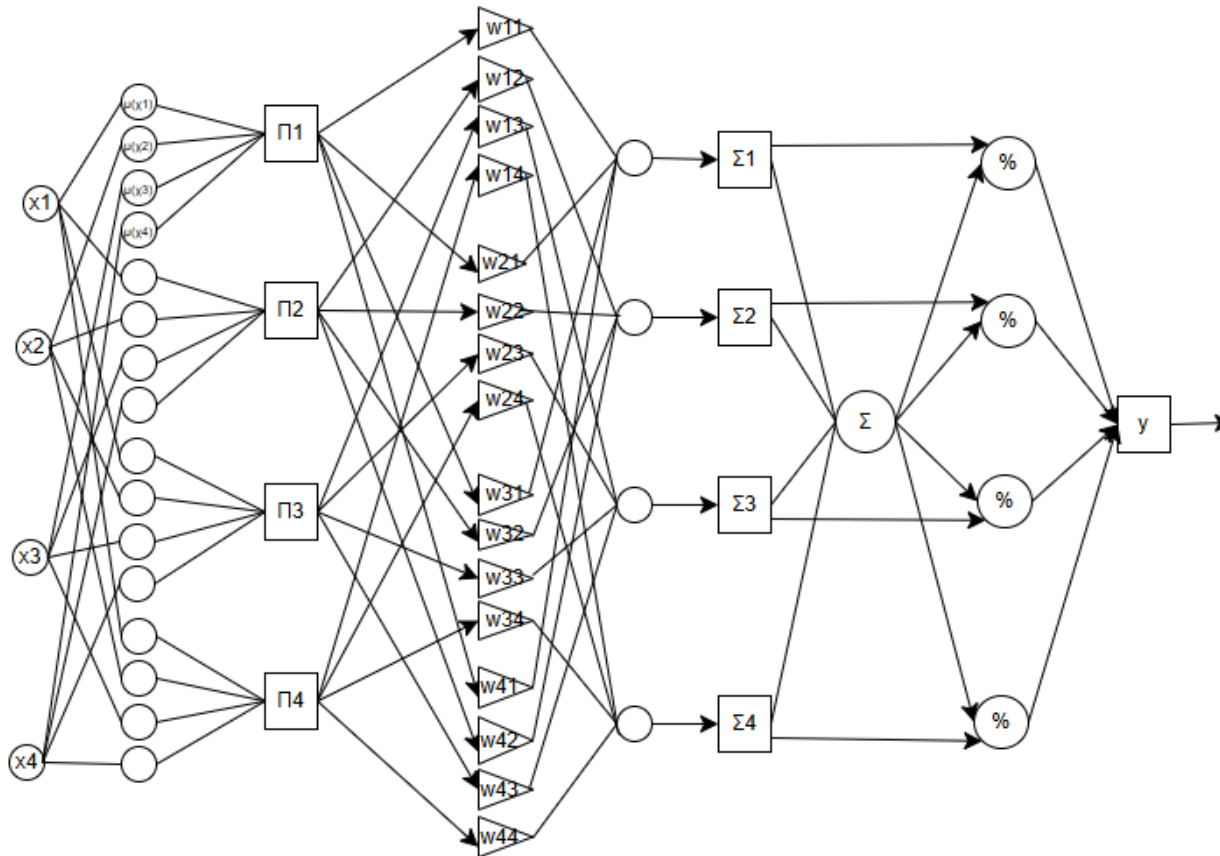
**ПОРІВНЯЛЬНА ТАБЛИЦЯ ПОКАЗНИКІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РІЗНИЦІ ЗА  
ТЕМПЕРАМЕНТОМ АБО ТИПОМ ОСОБИСТОСТІ**

Темперамент/Тип особистості	Частота хвиль ЕЕГ (мкВ)	Затримка реакції (мс)	Потенціал пов'язаний з подією (P300, мкВ)	Точність відповідей (%)	Когнітивні упередження
<b>Сангвінічний</b>	Альфа: 8-13 Гц, 40-50 мкВ	400-500	10-15	75-85%	Оптимізм, Ефект приєднання до більшості
<b>Холеричний</b>	Бета: 13-30 Гц, 20-30 мкВ	300-400	15-20	65-75%	Ілюзія контролю, Ефект зворотнього результату
<b>Флегматичний</b>	Альфа: 8-13 Гц, 50-60 мкВ	500-600	8-12	80-90%	Упередження уваги, Омана базового відсотку
<b>Меланхолійний</b>	Тета: 4-8 Гц, 20-25 мкВ	450-550	12-18	70-80%	Негативний ефект, Упередження переконань
<b>Інтроверти (І)</b>	Альфа: 8-13 Гц, 50-60 мкВ	500-600	8-12	80-90%	Упередження уваги, Омана базового відсотку
<b>Екстраверти (Е)</b>	Бета: 13-30 Гц, 20-30 мкВ	300-400	15-20	65-75%	Оптимізм, Ефект приєднання до більшості
<b>Відчуваючі (S)</b>	Альфа: 8-13 Гц, 40-50 мкВ	450-550	10-15	75-85%	Упередження уваги, Омана базового відсотку
<b>Інтуїтивні (N)</b>	Бета: 13-30 Гц, 25-30 мкВ	350-450	12-18	70-80%	Ілюзія контролю, Ефект зворотнього результату
<b>Думаючі (Т)</b>	Альфа: 8-13 Гц, 50-60 мкВ	500-600	8-12	80-90%	Упередження уваги, Омана базового відсотку

<b>Відчуваючі (F)</b>	Тета: 4-8 Гц, 20-25 мкВ	350-450	12-18	65-75%	Негативний ефект, Упередження переконань
<b>Судячі (J)</b>	Альфа: 8-13 Гц, 40-50 мкВ	450-550	10-15	80-90%	Упередження уваги, Омана базового відсотку
<b>Спостерігаючі (P)</b>	Бета: 13-30 Гц, 25-30 мкВ	350-450	12-18	70-80%	Ілюзія контролю, Ефект зворотнього результату

## ДОДАТОК Л

## ВДОСКОНАЛЕНА ГІБРИДНА НЕЙРО-НЕЧІТКА МЕРЕЖА ДЛЯ ОЦІНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ ВПЛИВУ СУБ'ЄКТИВНОГО ФАКТОРА НА ТОЧНІСТЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ



Вхідні дані  $X=\{x_1, \dots, x_4\}$ : когнітивні показники 1 уваги, 2 пам'яті, 3 когнітивного стресу, 4 мотивації у частині від цілого.

Вирішуюче правило (П) - функція втрат для оцінки точності:

$$L(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i, \theta))^2$$

де  $f(x_i; \theta)$  — прогноз нейронної мережі.

Динамічне комбіноване правило. Вагові коефіцієнти для когнітивних метрик визначаються на основі їх впливу на точність:

$W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ , де  $\sum w_i=1$ .

Вихідний шар моделює рішення  $Y=\{y_1, y_2\}$ , де  $y_1$  — правильне,  $y_2$  — неправильне.

## Псевдокод реалізації

# Initialization of the system

Initialize neural\_network()

Initialize fuzzy\_logic()

# Input data

cognitive\_metrics = {attention, stress, memory, control}

task\_description = {task\_type, correct\_answers\_set}

stimuli\_description = {type\_I\_complex, type\_II\_complex,  
unidimensional\_visual}

response\_structure = {perception\_time, analysis\_time,  
motor\_impulse}

subjective\_survey\_responses = {user\_feedback}

individual\_differences = {EEG\_average, personality\_type,  
bias\_indicators}

# Processing data

def process\_data(cognitive\_metrics, task\_description,  
stimuli\_description, response\_structure):

    neural\_results = neural\_network.process(cognitive\_metrics,  
    task\_description, stimuli\_description)

    fuzzy\_results = fuzzy\_logic.process(response\_structure,  
    individual\_differences)

    return combine\_results(neural\_results, fuzzy\_results)

# Decision-making rules

def decision\_making(neural\_results, fuzzy\_results):

    if fuzzy\_results['stress\_level'] > 0.7 and  
    neural\_results['attention'] < 0.5:

        risk = "High Bias Risk"

    else:

        risk = "Low Bias Risk"

    return risk

# Training program proposal

def generate\_training\_program(cognitive\_metrics, task\_results):

    improvement\_tasks = []

    for metric in cognitive\_metrics:

        if metric == 'low':

```
improvement_tasks.append(get_training_tasks_for_metric(metric))
```

```
return improvement_tasks
```

```
# Continuous learning (adaptive weights)
```

```
def update_weights(task_results):
```

```
    weights = get_initial_weights()
```

```
    for result in task_results:
```

```
        weights[result.metric] +=
```

```
        calculate_weight_adjustment(result)
```

```
    return weights
```

```
# Main system workflow
```

```
def main_system_workflow():
```

```
    input_data = collect_input_data()
```

```
    processed_data =
```

```
    process_data(input_data['cognitive_metrics'],
```

```
    input_data['task_description'], input_data['stimuli_description'],
    input_data['response_structure'])
```

```
    risk_evaluation =
    decision_making(processed_data['neural_results'],
    processed_data['fuzzy_results'])
```

```
    if risk_evaluation == "High Bias Risk":
```

```
        training_program =
```

```
        generate_training_program(input_data['cognitive_metrics'],
        processed_data['task_results'])
```

```
        update_weights(processed_data['task_results'])
```

```
        return {"Risk Evaluation": risk_evaluation, "Training
        Program": training_program}
```

```
    else:
```

```
        return {"Risk Evaluation": risk_evaluation}
```

```
# Execute system
```

```
main_system_workflow()
```