

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ПРАЦІВНИКА НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В дослідженні проаналізовано еволюцію методів визначення сенсомоторних реакцій (СМР) людини у професійній діяльності, зокрема під час водіння та на виробництві. Розглянуто перехід від традиційних контрольованих методів (апаратні психофізіологічні комплекси для тестування реакцій, симулятори водіння) до систем моніторингу в реальному часі. Ключові технології включають бортові системи моніторингу водія на основі комп'ютерного зору для виявлення втоми та уваги, промисловий комп'ютерний зір для аналізу стану людини та техніки безпеки, а також носимі пристрої для відстеження втоми та фізіологічного стану. Дослідження підкреслює важливість мультимодального підходу, який поєднує фізіологічні дані з машинним навчанням для точної оцінки когнітивного навантаження. Показано, що сфера рухається від статичної оцінки придатності до проактивних, адаптивних систем управління ризиками.

Ключові слова: сенсомоторні реакції, психофізіологічна діагностика, системи моніторингу водія, комп'ютерний зір, носимі пристрої, ергономіка.

Abstract

The study analyzes the evolution of methods for determining human sensorimotor responses (SMR) in professional activities, in particular during driving and in production. The transition from traditional controlled methods (hardware psychophysiological complexes for testing reactions, driving simulators) to real-time monitoring systems is considered. Key technologies include on-board driver monitoring systems based on computer vision for fatigue and attention detection, industrial computer vision for human condition and safety analysis, and wearable devices for fatigue and physiological state tracking. The study emphasizes the importance of a multimodal approach that combines physiological data with machine learning for accurate assessment of cognitive load. It is shown that the field is moving from static assessment of fitness to proactive, adaptive risk management systems.

Keywords: sensorimotor responses, psychophysiological diagnostics, driver monitoring systems, computer vision, wearable devices, ergonomics.

Вступ

Сенсомоторні реакції (СМР) є фундаментальною психофізіологічною характеристикою людини, що визначає її здатність до цілеспрямованої діяльності. Вони визначаються як зворотні дії людини у відповідь на будь-які подразники, що сприймаються органами чуття (сенсорними системами) [1]. Ці реакції є критично важливими для професій, що вимагають високої швидкості та точності взаємодії з технічними системами, зокрема для водіїв, пілотів, авіадиспетчерів, хірургів та операторів складного обладнання [2].

Сенсомоторні реакції, функціональний стан і професійна придатність

У психофізіології праці СМР класифікують за ступенем складності [3]:

1. Прості сенсомоторні реакції, що характеризуються однією, заздалегідь визначеною моторною відповіддю на один чітко визначений сенсорний стимул. Прикладом є натискання кнопки у відповідь на спалах світла.

2. Складні сенсомоторні реакції, які вимагають певної обробки інформації і прийняття рішення центральною нервовою системою (ЦНС) перед виконанням моторної дії. До них належать:

- реакції вибору, які передбачають вибір однієї з кількох можливих відповідей залежно від типу стимулу (наприклад, натискання червоної кнопки на червоний сигнал і зеленої – на зелений);
- реакції на об'єкт, що рухається – специфічний і високоінформативний тип складної СМР, який вимагає не просто реакції, а й просторово-часового передбачення (екстраполяції) [4].

Професійна діяльність, така як водіння, практично ніколи не обмежується простими реакціями. Вона базується на безперервному аналізі складних, динамічних стимулів та прогнозуванні їх розвитку. Отже, для адекватної оцінки професійної придатності ключове значення має вимірювання саме

складних, когнітивно-опосередкованих СМР.

Кількісна оцінка СМР базується на кількох ключових показниках, які разом дають уявлення про функціональний стан ЦНС. Дослідження, зокрема у галузі спортивної медицини, виділяють три основні метрики [5]:

1) час реакції (латентність) – середній час, виміряний у мілісекундах, що проходить від моменту подачі стимулу до початку моторної відповіді;

2) стабільність реакції – середньоквадратичне відхилення часу реакції. Цей показник характеризує варіативність або «розкид» часу реакції;

3) точність реакції – загальна кількість помилок, яка може включати неправильні відповіді (наприклад, натискання не тієї клавіші в реакції вибору) або пропущені сигнали.

Висока варіативність (нестабільність, значне середньоквадратичне відхилення часу реакції) часто є більш чутливим індикатором погіршення функціонального стану ЦНС, ніж просто середній час реакції. Працівник може підтримувати номінально швидку середню реакцію за рахунок мобілізації ресурсів, але зменшення стабільності свідчатиме про виснаження та непередбачуваність нервових процесів, що передуватиме серйозному погіршенню функціонального стану.

Аналіз СМР є ключовим методом діагностики функціонального стану та професійної придатності. Показники СМР дуже чутливі до втоми, сонливості та професійного стресу [6]. Оскільки ці стани динамічні, статичної лабораторної оцінки (наприклад, щорічної експертизи) недостатньо для гарантування безпеки протягом усієї робочої зміни. Це зумовило потребу розроблення технологій моніторингу СМР в реальному часі.

Визначення сенсомоторних реакцій та їх моніторинг

Контрольована оцінка проводиться у стандартизованих умовах для визначення базової придатності та для поглиблених досліджень.

Технології моніторингу СМР відстежують стан оператора безпосередньо під час виконання роботи. Розглянемо два випадки застосування: моніторинг водія та моніторинг оператора у промисловому середовищі.

Системи моніторингу стану водія (driver monitoring systems, DMS) – це бортові системи, що використовують камери (часто інфрачервоні) та комп'ютерний зір (КЗ) для безперервного аналізу стану водія. Вони стали обов'язковими для сучасних автомобілів та систем автопілота [7].

DMS відстежують біометричні маркери втоми, зокрема PERCLOS (відсоток часу із закритими очима), епізоди мікросну, зміну патернів моргання, позіхання та положення голови (кивання) [8].

Система аналізує напрямок погляду та позицію голови для вчасного виявлення втрати уваги. Якщо водій тривалий час не дивиться на дорогу (наприклад, дивиться на мобільний телефон), система кваліфікує це як відволікання [9].

Ці дані часто поєднуються з телематикою (CAN/GPS) [10] – аналізом поведінки самого автомобіля (різке гальмування, прискорення, повороти керма) для формування повної картини ситуації.

Аналогічні технології КЗ та носимі пристрої використовуються на виробництві, у будівництві та промисловості та інших галузях. Так, системи КЗ в реальному часі виявляють працівників без необхідних засобів індивідуального захисту (каска, жилети) та надсилають сповіщення. Системи можуть відстежувати рух людей і автоматично зупиняють роботів чи інше обладнання, якщо працівник входить у небезпечну зону [11].

КЗ може також використовуватись для ергономічних задач. Алгоритми оцінки пози аналізують рухи та пози працівників у реальному часі [12]. Це дозволяє автоматично застосовувати ергономічні оцінки, виявляти небезпечні патерни (неправильне підняття вантажу, надмірне згинання спини) та проактивно запобігати розвитку скелетно-м'язових розладів.

Носимі пристрої (wearable sensors) – спеціальні браслети або смарт-годинники використовують дані про сон та активність для прогнозування рівня втоми працівника [13]. Спеціалізовані сенсори (наприклад, датчик поверхневої ЕМГ) можуть безпосередньо вимірювати втому окремих груп м'язів. Вони також забезпечують безпеку працівників, які працюють на самоті (lone workers) через відстеження місцезнаходження та автоматичні сповіщення при падінні чи інших позаштатних ситуаціях.

Масив даних від систем КЗ, носимих пристроїв та фізіологічних сенсорів обробляється за допомогою технологій машинного навчання (ML). ML-моделі можуть навчатися розпізнавати складні

патерни втоми з метою прогностичного моделювання. Наприклад, класифікатори аналізують дані варіабельності серцевого ритму або візуальні дані (наприклад, співвідношення розмірів ока – eye aspect ratio, EAR) з камери для класифікації стану водія як «втомлений» або «бадьорий».

Часто системи передбачають втручання, або зворотній зв'язок, що може включати:

- сповіщення в реальному часі (для оператора) при виявленні небезпеки – система миттєво реагує візуальними, аудіо або тактильними (вібрація керма/сидіння) сповіщеннями;
- аналітичні панелі (dashboards) для менеджерів забезпечують збір даних і агрегацію їх для керівників. Вони бачать інтегральні індекси безпеки водія або інші показники, звіти про інциденти (різке гальмування, спрацювання DMS) та загальні тенденції ризику у команді.

Висновки

Таким чином, методи визначення СМР пройшли послідовну еволюцію від статичної оцінки придатності (лабораторні тести і випробування) через динамічний моніторинг стану (бортові DMS та носимі пристрої) до предиктивного управління ризиками (за допомогою технологій злиття сенсорів (sensor fusion) та машинного навчання (machine learning)).

Майбутнє полягає у створенні адаптивних систем із замкненим циклом. Такі системи будуть не просто сповіщати оператора про втому, а й проактивно адаптувати поведінку машини (наприклад, автопілот автоматично збільшить безпечну дистанцію або система заблокує некритичні сповіщення), щоб компенсувати погіршення сенсомоторної функції людини та підвищити безпеки праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shtofel D., Navrotska K., Kostishyn S., Zlepko S., Tymchyk S. Reaction parameter and modified sensorimotor reaction method for assessment of functional potential of nervous system. *Biomedical engineering and electronics*. 2018. № 1 (20). P. 68–78.
2. Штофель Д. Х., Сорочинський В. В. Сучасні методи сенсомоторних досліджень для системи аналізу рухової активності. *Міжнародна науково-практична конференція «Відновлення України у повоєнні часи: виклики, стратегічні пріоритети, ресурсне забезпечення, потенціал майбутнього розвитку»*, м. Вінниця, 10–11 жовтня 2024 р. Вінниця : ДонНУ ім. Василя Стуса, 2024. 3 с. URL: <https://peers.international/paper/suchasni-metodi-sensomotornikh-doslidzhen-dlya-sistemi-analizu-rukhovoi-aktivnosti>
3. Луценко О. Л. Психофізіологія: прикладні аспекти : навчально-методичний посібник. Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. 55 с.
4. Трифонова Т. А. Прикладна екологія людини. 2018. URL: https://stud.com.ua/101550/ekologiya/prikladna_ekologiya_lyudini
5. Шльонська О., Борисова О., Федорчук С. Критерії оцінювання показників сенсомоторних реакцій різного ступеня складності кваліфікованих спортсменок-волейболісток. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*. 2024. № 2. С. 73–79.
6. Солдатов С. В. Методичний апарат оцінки професійного стресу та впливу стрес-факторів на особистість. *Вісник Національного університету оборони України*. 2013. № 6. С. 311–316.
7. Razak S. F. A., Yogarayan S., Aziz A. A., Abdullah M. F. A., Kamis N. H. Physiological-based driver monitoring systems: A scoping review. *Civil Engineering Journal*. 2022. № 8 (12). P. 3952–3967.
8. Khan M. A., Asadi H., Qazani M. R. C., et al. Advancing Cognitive Load Detection in Simulated Driving Scenarios Through Deep Learning and fNIRS Data. *Sensors*. 2025. Vol. 25 (16). Art. 4921. 20 p.
9. Йовченко А. В., Шльончак І. А. Розробка алгоритма моніторингу стану водія за допомогою Android-застосунку з метою підвищення рівня активної безпеки. *Центральноукраїнський науковий вісник*. 2023. № 7 (38), ч. II. С. 139–146.
10. Zaidi S. F. A., Yang J., Abbas M. S., Hussain R., Lee D., Park C. Vision-based construction safety monitoring utilizing temporal analysis to reduce false alarms. *Buildings*. 2024. Vol. 14 (6). Art. 1878. 20 p.
11. Fang W., Love P. E., Luo H., Ding L. Computer vision for behaviour-based safety in construction: A review and future directions. *Advanced Engineering Informatics*. 2020. Vol. 43. Art. 100980.

12. Seo J., Yin K., Lee S. Automated postural ergonomic assessment using a computer vision-based posture classification. *Construction research congress 2016*. 2016. P. 809–818.
13. Tindale L. C., Chiu D., Minielly N., Hrinco V., Talhouk A., Illes J. Wearable biosensors in the workplace: Perceptions and perspectives. *Frontiers in digital health*. 2022. Vol. 4. Art. 800367.
14. Khan A. A., Laghari A. A., Awan S. A. Machine learning in computer vision: A review. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*. 2021. Vol. 8 (32). 11 p.

Сорочинський Вадим Валентинович – аспірант гр 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: vsorochynskyi@vntu.edu.ua

Sorochynskyi Vadym V. – postgraduate student of gr 163-23a, department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: vsorochynskyi@vntu.edu.ua