

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ СТАНУ ВОДІЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У статті розглянуто застосування технологій штучного інтелекту для моніторингу стану водія за допомогою веб-камери. Проаналізовано принципи роботи таких ШІ-систем (виявлення обличчя, очей, відстеження положення голови, використання алгоритмів глибокого навчання). Описано основні технології розпізнавання втоми та відволікання водія, їх ефективність та проведено порівняння підходів. Розглянуто галузі застосування систем моніторингу водіїв (комерційний транспорт, легкові автомобілі, спеціалізовані сфери).

Ключові слова: штучний інтелект, моніторинг водія, сонливість водія, відволікання уваги, комп'ютерний зір, глибоке навчання.

Abstract. The article considers the use of artificial intelligence technologies for monitoring the driver's condition using a webcam. The principles of operation of such AI systems (face and eye detection, head position tracking, use of deep learning algorithms) are analyzed. The main technologies for recognizing driver fatigue and distraction are described, their effectiveness is described, and approaches are compared. The areas of application of driver monitoring systems are considered (commercial transport, passenger cars, specialized areas).

Keywords: artificial intelligence, driver monitoring, driver drowsiness, distraction, computer vision, deep learning.

Вступ

Проблема втоми та неувважності водіїв є одним із ключових факторів ДТП. Дослідження показують, що присутність станів втоми або відволікання у водія є однією з головних причин смертельних аварій – до 36% випадків [1], що підкреслює важливість контролю за станом людини за кермом. Традиційно для підвищення безпеки застосовувалися системи оповіщення водія (наприклад, аналіз поведінки автомобіля чи фізіологічні сенсори), проте сучасний підхід усе більше покладається на комп'ютерний зір та алгоритми штучного інтелекту. Швидкий розвиток технологій машинного зору та глибокого навчання зумовив появу інтелектуальних систем, що в реальному часі відстежують поведінку водія – такий напрям досліджень і розробок став особливо актуальним останнім часом.

Камери, оснащені ШІ-алгоритмами, здатні розпізнавати ознаки сонливості або відволікання водія раніше, ніж це стане критичним, й попереджати водія чи навіть втручатися в керування для запобігання аварії. Важливу роль відіграють і регуляторні ініціативи, що стимулюють впровадження систем моніторингу водія. Зокрема, у Європейському Союзі з 2024 року всі нові типи транспортних засобів повинні бути обладнані системами попередження про втому водія, а до 2026 року вимагається наявність камерної системи моніторингу уваги водія у кожному новому автомобілі [2].

Отже, моніторинг стану водія перетворюється на стандартну функцію безпеки сучасних машин.

Принципи роботи ШІ-систем для моніторингу водія

ШІ-системи моніторингу водія зазвичай складаються з інфрачервоної відеокамери, спрямованої на обличчя водія, та бортового комп'ютера, що аналізує відеопотік у реальному часі. Камера, як правило, встановлюється на рульовій колонці або приладовій панелі і здатна працювати за слабого освітлення завдяки ІЧ-підсвітці.

Програмне забезпечення виявляє обличчя водія у кожному кадрі, після чого відстежує ряд ключових ознак. Зокрема, аналізуються положення й рухи повік та очей (частота кліпань, ступінь відкриття очей), міміка рота та орієнтація голови відносно дороги [3].

На основі цих даних алгоритми оцінюють рівень уваги: чи спрямований погляд на дорогу, чи не починає водій дрімати. Сучасні системи використовують методи глибокого навчання для інтерпретації відеозображень. Замість простого порогового аналізу окремих параметрів, нейронні мережі можуть одночасно враховувати комплексний «малюнок» стану водія. Наприклад, згорткові нейронні мережі (CNN) здатні автоматично розпізнавати на зображенні обличчя ознаки втоми – опущені повіки, вираз обличчя, кут нахилу голови тощо – шляхом навчання на великих вибірках даних. Додатково можуть застосовуватися рекурентні мережі або методи аналізу відеопослідовностей

для відстеження динаміки змін (тривалість закриття очей, поступове опускання голови). В результаті система оцінює стан водія як «уважний» чи «сонливий» залежно від виявлених характеристик. Критичною ознакою втоми є закриття очей на тривалий час. Для кількісної оцінки цього використовують метрику PERCLOS – відсоток часу, протягом якого повіки закривають зіницю. Цей показник вважається валідованим індикатором сонливості водія та рекомендований Національним управлінням безпеки руху на автошляхах (NHTSA).

Якщо PERCLOS перевищує встановлений поріг (наприклад, очі закриті понад 70% часу протягом хвилини), система робить висновок про небезпечний рівень сонливості. При виявленні ознак небезпеки ІІІ-система генерує попередження для водія. Залежно від реалізації це можуть бути звукові сигнали, вібрація сидіння або візуальні індикатори на панелі приладів. Деякі комерційні рішення для автопарків, такі як система Guardian, при фіксації сонливості або відволікання негайно подають гучний сигнал, миготливе світло та навіть вібрацію крісла, щоб розбудити водія [4].

Таким чином, принцип дії систем моніторингу полягає у безперервному «спостереженні» за водієм через камеру і інтелектуальному аналізі його стану з метою раннього виявлення небезпечної поведінки та превентивного сповіщення.

Технології розпізнавання втоми та відволікання водія

Системи моніторингу стану водія можна умовно поділити за типом даних на кілька категорій:

- 1) візуальні (аналіз зображення обличчя водія через камеру);
- 2) біометричні (вимірювання фізіологічних показників – наприклад, електроенцефалограма, частота серцевих скорочень);
- 3) поведінкові (аналіз динаміки руху автомобіля – траєкторії, керма);
- 4) комбіновані.

Розглянемо візуальні методи, що використовують веб-камеру і алгоритми АІ для інтерпретації зображення, оскільки вони є неінвазивними та зручними у впровадженні.

Втома (сонливість) водія проявляється через ряд характерних ознак, які можна виявити за допомогою комп'ютерного зору. До видимих симптомів належать, зокрема, часте позіхання, почастищення та уповільнення кліпання очей, «важкі» повіки (очі надовго заплющуються), а також кивання головою при дрімоті [5].

Алгоритми аналізу відео здатні кількісно оцінювати більшість з цих показників. Наприклад, рахується частота кліпань і середня тривалість одного закриття очей; різке збільшення цих параметрів є індикатором наростаючої сонливості. Вимірюється частота позіхань – на основі детекції відкривання рота; багаторазове позіхання протягом короткого часу також сигналізує про втому.

Відстеження нахилу голови дозволяє помітити кивання (мікросон за кермом), коли голова різко опускається і знову піднімається. Для розпізнавання згаданих ознак застосовуються як класичні алгоритми комп'ютерного бачення, так і сучасні моделі глибокого навчання. У ранніх реалізаціях популярним підходом було використання каскадів Гаара чи інших детекторів для знаходження очей на зображенні та простого правилowego визначення стану («очі закриті» vs «очі відкриті»). Натомість новіші системи все частіше покладаються на нейромережі, які можуть більш точно класифікувати стан водія. Приміром, дослідники пропонують архітектури, що поєднують кілька потоків аналізу: один визначає статичні ознаки обличчя на окремому кадрі (становище повік, рота тощо), інший аналізує динамічні ознаки на основі оптичного потоку між кадрами (рух повік, зміна виразу).

Потім ці ознаки об'єднуються і подаються до класифікатора, який вирішує, чи водій сонний. Такий підхід дозволяє вловити як миттєві, так і поступові прояви втоми. Застосування глибоких нейронних мереж на великих наборах даних суттєво підвищило точність: окремі експериментальні системи повідомляють про досягнення точності розпізнавання сонливості понад 97% [6].

Важливо, що більшість високоточних моделей враховують кілька типів ознак одночасно – очі, положення голови, рот – оскільки комбінування індикаторів дає більш надійний результат.

Разом з тим, виключно візуальні методи мають і обмеження. Наприклад, темрява, зустрічне світло або окуляри можуть ускладнювати аналіз очей. Для вирішення цих проблем використовують інфрачервоні камери (які «бачать» очі навіть у темряві та крізь тоновані окуляри) і адаптивні алгоритми, стійкі до змін освітлення. Інша проблема – індивідуальні особливості: деякі водії кліпають дуже рідко навіть у нормальному стані, інші навпаки часто, що потребує персоналізації порогів або самонавчання системи під конкретну людину. У перспективі очікується, що алгоритми

будуть враховувати нормальну манеру водія (наприклад, його середню частоту кліпання в бадьорому стані) для адаптивного налаштування чутливості.

Також досліджується об'єднання візуальних даних з іншими сигналами – наприклад, з біометричними датчиками серцевого ритму або з даними про керування – аби підвищити надійність. Згідно з результатами оглядів, комбінування показників (наприклад, одночасний облік PERCLOS та показників варіабельності серцевого ритму) може забезпечити більш впевнене виявлення втоми порівняно з використанням лише одного індикатора.

Відволікання (неуважність) водія за своєю природою відрізняється від сонливості, але також проявляється через певні візуальні та поведінкові ознаки. Основним критерієм є напрямок погляду та положення голови водія: коли людина дивиться не на дорогу, а вбік або вниз (наприклад, на телефон чи навігатор), це означає, що увага відвернена від керування. Системи на основі ШІ відстежують погляд очей або орієнтацію обличчя, щоб визначити, куди спрямована увага. Якщо протягом визначеного часу (кілька секунд) водій не дивиться на дорогу, спрацьовує попередження про відволікання. Сучасні алгоритми оцінки позиру голови (head pose estimation) дозволяють досить точно визначити кут повороту голови за зображенням обличчя, а технології відстеження погляду – зрозуміти, куди спрямовані очі. Приміром, система Advanced Driver Distraction Warning (ADDW), передбачена європейськими нормами, відслідковує рухи голови та очей і подає сигнал, якщо водій надто довго не дивиться на шлях.

У випадку, коли камера бачить, що водій опустив погляд на смартфон або розвернувся до пасажирів, спрацьовує тривожний сигнал. Алгоритми виявлення неуважності часто працюють у тандемі з алгоритмами втоми, використовуючи ту саму камеру. Однак акцент аналізу дещо інший: замість тривалості заплющення очей система оцінює відхилення погляду від прямого напрямку. Деякі реалізації також розпізнають специфічні відволікаючі дії – такі як розмова по телефону (наприклад, по характерному жесту піднесення руки до вуха чи появі телефону в полі зору камери) – за допомогою методів класифікації зображень. Наприклад, нейромережу можна навчити розпізнавати кадри, де водій тримає телефон біля вуха або набирає текст на смартфоні, і таким чином автоматично виявляти використання телефону за кермом. Подібні функції вже реалізовані в деяких «розумних» автомобільних відеореєстраторах: вони здатні зафіксувати факт, що водій відволікся на телефон чи іншу активність, і згенерувати попередження. Загалом, ефективність алгоритмів розпізнавання втоми та відволікання водія постійно зростає. За даними досліджень, системи комп'ютерного зору для детекції сонливості демонструють точність у діапазоні від 72% до 99% у різних дослідженнях [7].

Галузі застосування систем моніторингу водіїв

Системи ШІ-моніторингу водія набули широкого розповсюдження у сфері вантажних перевезень та комерційних автопарків. Причина очевидна: для професійних водіїв вантажівок, що проводять багато годин за кермом, ризик заснути чи відволіктися особливо високий, а наслідки аварій за участю великогабаритного транспорту – катастрофічні. Багато логістичних компаній встановлюють у вантажівках камери спостереження за водієм, підключені до системи попередження. Наприклад, рішення Guardian від компанії Seeing Machines використовується автопарками в Австралії та світі і дозволяє в режимі реального часу відстежувати ознаки втоми/неуважності: при спрацюванні тривоги водій отримує сигнал, а дані одразу передаються диспетчеру автопарку.

Практика впровадження таких систем показала зниження кількості інцидентів, пов'язаних з засинанням за кермом, оскільки водії отримують попередження задовго до критичного моменту. Окрім вантажівок, подібні комплекси встановлюються на міжміських автобусах і туристичних автокараванах – там, де водії долають довгі дистанції і можуть перевтомлюватися, ставлячи під загрозу життя численних пасажирів.

У сфері персонального транспорту системи моніторингу водія почали як опція для автомобілів преміум-класу, але стрімко переходять у стандартне оснащення. Вже зараз багато моделей бизнес- і середнього класу оснащуються камерами, що «дивляться» на водія. Це пов'язано як з турботою автовиробників про безпеку клієнтів, так і з новими регуляторними вимогами. Європейський Союз зробив систему попередження про втому водія обов'язковою для нових моделей, а з 2026 року всі нові авто в ЄС повинні матимуть камери для моніторингу уваги [8].

Відповідно, навіть масові марки інтегрують такі функції. Спочатку подібні системи з'явилися у брендів Lexus, BMW, Cadillac та інших люксових виробників як частина комплексів активної безпеки. Cadillac використовував камеру для контролю уваги водія в своїй системі Super Cruise

(напівавтономне водіння) ще з 2017 року. Нині ж камери стеження за водієм входять до складу розширених систем допомоги водію (ADAS) навіть у більш доступних моделях, допомагаючи попереджати водія про небезпеку або втручатися (наприклад, активуючи екстрене гальмування, якщо водій не реагує).

Окрім традиційного автомобільного транспорту, технології моніторингу стану оператора знаходять застосування і в інших галузях. В авіації впроваджуються системи контролю за пілотом у кабіні, які виявляють, чи не засинає льотчик на довгих перельотах, або чи не відволіклася його увага від приладів. В залізничній галузі розглядаються камери для моніторингу локомотивних бригад як заміна або доповнення до старих «кранів безпеки» (dead man's switch), щоб більш інтелектуально відстежувати стан машиніста. У сфері важкої техніки та гірничодобувної промисловості компанії також експериментують з установкою систем стеження за станом операторів кар'єрних самоскидів, екскаваторів тощо – адже втома оператора великої машини на виробництві може призвести до аварії або травм. Навіть у сфері пасажирських перевезень таксі та сервісів на кшталт Uber з'являються ініціативи з контролю стану водіїв (через смартфон або камеру в автомобілі), щоб гарантувати безпечне перевезення клієнтів. Таким чином, від вантажівки до літака – скрізь, де людський фактор грає вирішальну роль у безпеці, можуть бути корисними AI-системи моніторингу уваги і стомлюваності оператора.

Висновки

Впровадження штучного інтелекту для відслідковування стану водія через веб-камеру знаменує собою якісно новий рівень систем безпеки в транспорті. Проведений аналіз показав, що застосування ШІ дозволяє ефективно розпізнавати критичні стани водія – такі як сонливість або відволікання – ще до того, як вони призведуть до аварійної ситуації. Історично розвиток технологій моніторингу водія пройшов шлях від простих сигналізаторів на основі поведінки автомобіля до складних інтелектуальних комплексів, що безперервно «спостерігають» за самим водієм. Принципи роботи сучасних систем базуються на аналізі відеозображення: алгоритми комп'ютерного зору відстежують очі, вираз обличчя, рухи голови, аби в реальному часі робити висновки про рівень уваги та втоми. Застосування глибокого навчання значно підвищило достовірність таких оцінок, дозволивши враховувати тонкі ознаки і їхні взаємозв'язки. Системи моніторингу водія на основі ШІ вже знаходять широке застосування – від вантажних перевезень (де вони допомагають зберегти життя водіїв-дальнобійників і оточуючих), до легкових автомобілів (стаючи невід'ємною складовою сучасних автомобілів відповідно до нових стандартів безпеки). Перспективи розвитку включають подальше підвищення точності алгоритмів, їх адаптивність до індивідуальних особливостей, інтеграцію з автономними системами керування та інфраструктурою зв'язку, а також розширення функціоналу (виявлення інших станів, наприклад, раптового погіршення здоров'я). Водночас перед розробниками стоять виклики – мінімізувати хибні тривоги, забезпечити кібербезпеку і конфіденційність, зберегти довіру користувачів. Незважаючи на ці виклики, користь від впровадження ШІ-моніторингу водія є надзвичайно вагомою: підвищення безпеки дорожнього руху, збережені життя та здоров'я учасників руху і подальше зниження впливу людського фактору на виникнення дорожньо-транспортних пригод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fu, S.; Yang, Z.; Ma, Y. et al. Advancements in the Intelligent Detection of Driver Fatigue and Distraction: A Comprehensive Review // *Applied Sciences*, 2024, 14(7):3016.
2. Devant. The EU's New Vehicle General Safety Regulation: A Step Towards Safer Roads (2024) – Devant.ai [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.devant.ai/news/the-eus-new-vehicle-general-safety-regulation-a-step-towards-safer-roads>.
3. Chang, R.C.H.; Wang, C.-Y.; Chen, W.-T. et al. Drowsiness Detection System Based on PERCLOS and Facial Physiological Signal // *Sensors*, 2022, 22(14):5380.
4. Albadawi, Y.; Takruri, M.; Awad, M. et al. A Review of Recent Developments in Driver Drowsiness Detection Systems (Review) // *Electronics*, 2022, 11(3):421.
5. Kiashari, S.; Khorshidtalab, A.; Alimardani, F. et al. Driver Drowsiness Detection Using Facial Features and Yawning Analysis // *IEEE Access*, 2021, 9:19745-19756.
6. Seeing Machines. Guardian – Driver Monitoring Solution for Fleet Safety (product info) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://seeingmachines.com/video/guardian-mythbusters/>.
7. Abe, T. PERCLOS-based technologies for detecting drowsiness: current evidence and future directions // *Sleep Advances*, 2023, 4(1):zpad006.

8. European Commission. Mandatory driver assistance systems expected to help save over 25,000 lives by 2038 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.devant.ai/news/the-eus-new-vehicle-general-safety-regulation-a-step-towards-safer-roads>.

Лиса Сніжана Олегівна – студентка групи 4ПІ-21б, ФІТКІ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: snishanas22@gmail.com

Романюк Олександр Никифорович – д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rom8591@gmail.com.

Lysa Snizhana Olehivna – student of group 4PI-21b, FITKI, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: snishanas22@gmail.com

Romanyuk Oleksandr Nykyforovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Software Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rom8591@gmail.com.