

ТЕМ дозволяють створювати персональні зони клімат-контролю (крісла, підлокітники), суттєво зменшуючи навантаження на основну кліматичну установку.

Твердотільна природа модулів робить їх ідеальними для охолодження LED-оптики та процесорів автопілота в обмеженому просторі.

Масове впровадження наразі стримується низьким ККД (до 8 %) та високою собівартістю напівпровідникових матеріалів.

Література

1. Rowe D. M. Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. CRC Press, 2018. 1014 p.
2. Goldsmid H. J. Introduction to Thermoelectricity. Springer Berlin, Heidelberg, 2016. 263 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49256-7.
3. Twaha S., Zhu J., Yan Y., Li B. A comprehensive review of thermoelectric technology: Real-life applications and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 47. P. 398–414.
4. Gao J., Graeff L., Gschwander S. Review on thermoelectric power generation for internal combustion engine waste heat recovery. Journal of Electronic Materials. 2019. Vol. 48. No. 1. P. 1–15.
5. Zheng X., Liu C., Yan Y., Wang Q. A review of thermoelectrics for vehicle climate control. International Journal of Refrigeration. 2014. Vol. 41. P. 132–150.
6. Sajid M. U., Hassan I., Rahman A. An overview of cooling of power electronics using thermoelectric coolers (TECs). Energy Reports. 2017. Vol. 3. P. 1–14.
7. Patent US 8,653,356 B2. Thermoelectric generation system for a vehicle exhaust. Inventors: G. Meisner, J. Yang, J. Chen. Assignee: General Motors LLC. Date: Feb 18, 2014.

УДК 629.33

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ЛОБОВЕ СКЛО

М.В. Дігтяр

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

aa123dmv@stud.khadi.kharkov.ua

Сучасний розвиток автомобілебудування характеризується стрімким переходом від механічного вдосконалення до глибокої інтеграції цифрових технологій. Для транспортних засобів категорії М1 (легкові автомобілі до восьми пасажирських місць) одним із найвищих пріоритетів є забезпечення максимального рівня активної безпеки та комфорту водія. Збільшення

інтенсивності дорожнього руху та зростання інформаційного потоку в автомобілі призводять до підвищення когнітивного навантаження на людину за кермом. Ефективним рішенням цієї проблеми стало впровадження систем проєкції інформації на лобове скло – Head-Up Display (HUD) [1, 2].

Історія розвитку систем проєктування інформації на лобове скло

Технологія Head-Up Display (Рис. 1) має глибоке історичне коріння, яке бере свій початок не в автомобільній промисловості, а у військовій авіації. Перші прототипи оптичних прицілів коліматорного типу з'явилися ще під час Другої світової війни. Однак повноцінні HUD-системи на базі електронно-променевої трубки (ЕПТ) почали активно застосовуватися на реактивних винищувачах у 1950–1960-х роках. Головною метою інженерів було дозволити пілотам зчитувати критично важливу інформацію (висоту, швидкість, лінію горизонту та приціл) під час динамічного повітряного бою, не опускаючи погляд на приладову дошку, оскільки на надзвукових швидкостях відволікання навіть на долі секунди могло стати фатальним.



Рис. 1. Перший серійний автомобільний монохромний HUD

В автомобільній індустрії перенесення авіаційних технологій на цивільний транспорт відбулося значно пізніше. Першим в історії серійним легковим автомобілем, оснащеним системою HUD, став американський Oldsmobile Cutlass Supreme (концерн General Motors), випущений у 1988 році. Система була досить примітивною за сучасними мірками: вона використовувала монохромний вакуумно-люмінесцентний індикатор (VFD) та проєктувала на лобове скло лише цифровий спідометр та індикатори сигналів повороту.

Наступний значний технологічний прорив стався на початку 2000-х років, коли виробники почали відмовлятися від простих сегментних індикаторів на користь повноцінних матриць. У 1998 році з'явилися перші кольорові проєкції (Chevrolet Corvette), а у 2003 році компанія BMW стала першим європейським виробником, який впровадив кольоровий HUD на базі TFT-дисплея у моделі 5-ї серії (кузов Е60). Це дозволило виводити на скло не

лише швидкість, але й графічні підказки навігаційної системи, показання круїз-контролю та попередження системи самодіагностики.

Починаючи з 2010-х років, системи HUD почали масово з'являтися не лише в автомобілях преміум-сегмента, але й у мас-маркеті. Для здешевлення конструкції компанії (наприклад, Peugeot, Mazda) почали використовувати висувні пластикові екрани-комбінатори (Combiner HUD) замість проєкції безпосередньо на лобове скло.

Сучасний етап (з 2020-х років) характеризується переходом від класичних 2D-проєкцій до систем доповненої реальності (AR HUD), першопрохідцями в яких стали такі моделі, як Mercedes-Benz S-Class та лінійка електромобілів Volkswagen ID. Сьогодні еволюція HUD йде шляхом збільшення кута огляду, використання лазерних технологій (Laser HUD) та розробки голографічної оптики, що дозволяє зменшити габарити самих проєкторів [3, 4].

Проблема відволікання водія та фізіологія зору

Традиційне розташування приладової панелі вимагає від водія періодично відривати погляд від дороги. З точки зору фізіології та ергономіки, цей процес включає кілька етапів: переведення погляду (сакадичні рухи очей), акомодацию (перефокусування кришталика з нескінченності на об'єкт зблизька) та когнітивне розпізнавання інформації.

Дослідження показують, що на зчитування базової інформації (швидкість, залишок палива) з традиційного кластера приладів водій витрачає від 0,5 до 1,5 секунди. Під час руху зі швидкістю 100 км/год за 1 секунду автомобіль долає майже 28 метрів. У цей час водій фактично керує транспортним засобом «наосліп», що критично збільшує час реакції на раптову появу перешкоди (Рис. 2).

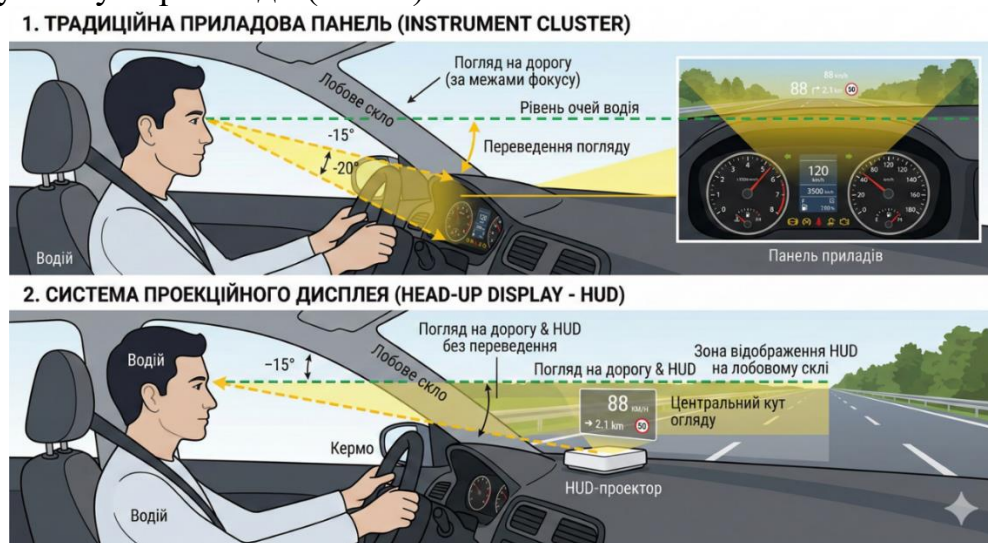


Рис. 2. Порівняння кутів огляду традиційної приладової панелі та система HUD

Впровадження HUD-систем дозволяє утримувати віртуальне зображення у прямому полі зору (Field of View - FOV) водія, сфокусованим на відстані кількох метрів попереду автомобіля.

Будова та оптичні принципи роботи класичного HUD

Автомобільний Head-Up Display є складною оптико-електронною системою, що працює за принципом коліматора. Вона формує віртуальне зображення (Virtual Image Distance – VID), яке здається водієві таким, що «видить» у просторі перед капотом. Основні компоненти системи:

- Блок формування зображення (Picture Generation Unit - PGU);
- Оптична система дзеркал;
- Комбінатор (Combiner).

Блок формування зображення є джерелом світла та графіки. У сучасних автомобілях M1 найчастіше використовуються TFT-LCD матриці з потужним LED-підсвічуванням. Більш передові системи використовують технологію DLP (Digital Light Processing) з мікродзеркалами або лазерні проектори, які забезпечують вищу контрастність і яскравість, необхідну для читабельності в сонячний день.

Оптична система дзеркал (Рис. 3) складається з системи плоских (Fold Mirror) та асферичних (Aspheric Mirror) дзеркал. Асферичне дзеркало виконує ключову роль: воно збільшує зображення від PGU і, що найважливіше, компенсує оптичні викривлення, які неминуче виникають через складну кривизну лобового скла автомобіля.



Рис. 3. Оптична схема роботи системи Head-Up Display

Поверхня, на якій відбувається часткове відбиття світлових променів у бік очей водія (приблизно 20% відбиття і 80% світлопропускання дороги).

Проблема ефекту «привида» (Ghosting effect) та її вирішення

Найбільшим технічним викликом при проектуванні HUD є використання безпосередньо лобового скла як комбінатора. Стандартне лобове скло – це триплекс, що складається з двох шарів скла і пластикової плівки між ними. Світловий промінь від проектора відбивається спочатку від внутрішньої поверхні скла, а потім (частково) від зовнішньої. Оскільки ці поверхні паралельні, в очі водія потрапляють два зміщених зображення (Рис. 4) – основне і менш яскраве вторинне (ефект двоїння або «привида»).

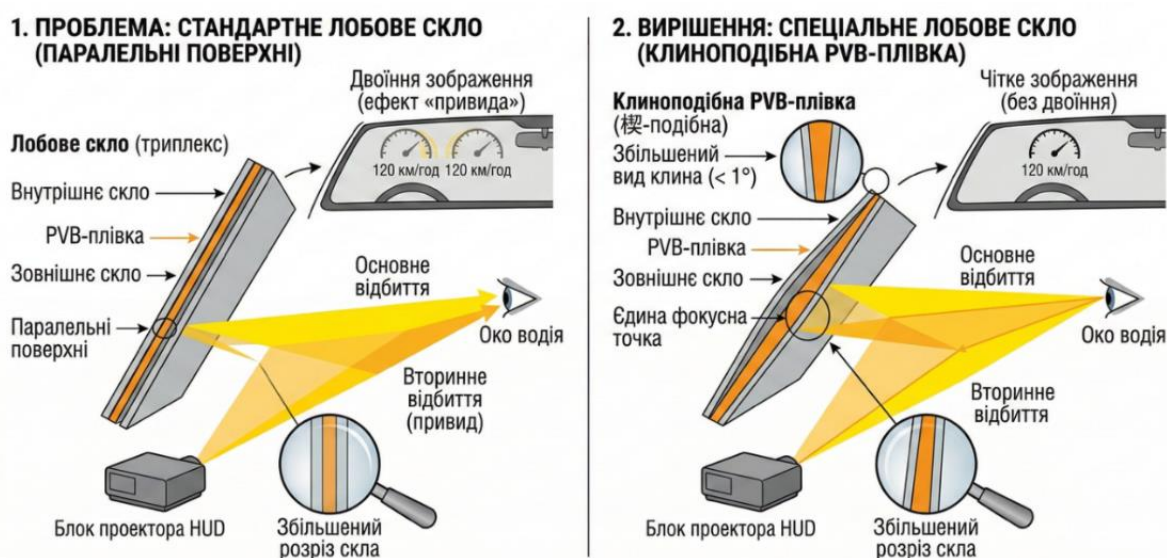


Рис. 4. Виникнення ефекту роздвоєння зображення та його усунення за допомогою клиноподібної PVB-плівки

Для усунення цього явища при виробництві автомобілів з HUD застосовують спеціальну полівінілбутиральну плівку (PVB-плівку) клиноподібної форми. Вона робить внутрішнє і зовнішнє скло не строго паралельними (кут відхилення становить доли градуса). Завдяки цьому промені від обох поверхонь зводяться в єдину фокусну точку на рівні очей водія.

Еволюція до Augmented Reality (AR HUD)

Якщо класичні HUD відображають статичну телеметрію (швидкість, обмеження, базові іконки навігації) на фіксованій фокусній відстані 2-2.5 метри, то сучасним вектором розвитку є системи доповненої реальності (AR HUD), принцип роботи якої зображено на рисунку 5.

AR HUD формує багатошарову проекцію. Ближнє поле (Status VID) відображає стандартні дані, а дальнє поле (AR VID) проектується на віртуальну відстані від 7 до 15 метрів. Завдяки цьому цифрові підказки графічно «накладаються» на реальні об'єкти фізичного світу.

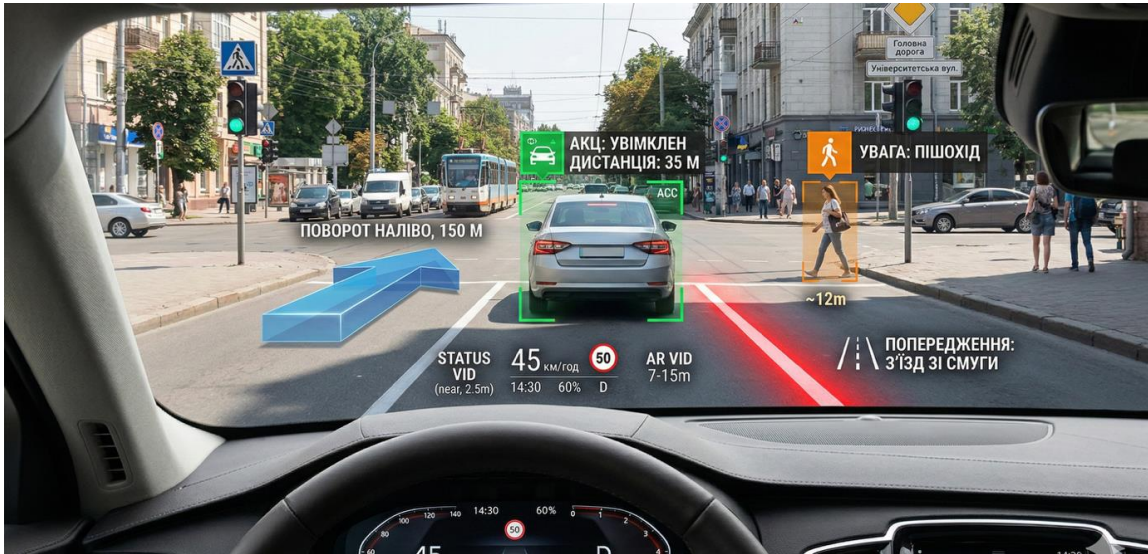


Рис. 5. Проекція доповненої реальності (AR HUD) в умовах міського руху

Інтеграція AR HUD з бортовими системами допомоги водієві (ADAS), камерами, радарам та лідарами забезпечує наступний функціонал:

- Динамічна навігація: Віртуальні стрілки «лягають» безпосередньо на потрібну смугу руху, змінюючи перспективу та розмір залежно від наближення до повороту.
- Активна безпека (Lane Departure Warning): У разі ненавмисного з'їзду зі смуги система яскраво підсвічує відповідну лінію розмітки червоним кольором.
- Ідентифікація перешкод: Приладовий зір автомобіля розпізнає пішоходів на узбіччі вночі та виділяє їх візуальними маркерами на склі, привертаючи увагу водія ще до того, як об'єкт потрапить у зону дії фар.
- Адаптивний круїз-контроль (ACC): Система маркує автомобіль попереду, показуючи дистанцію та статус утримання безпечної швидкості.

Незважаючи на очевидні переваги, масове впровадження AR HUD в автомобілі категорії М1 стикається з інженерними труднощами.

По-перше, забезпечення широкого кута огляду (FOV) для AR-проекції вимагає значного збільшення розмірів оптичної системи. Об'єм блоку AR HUD під панеллю приладів може сягати 10–15 літрів (для порівняння, класичний HUD займає 1.5–3 літри). Це змушує інженерів кардинально переглядати компонування систем кондиціонування, повітропроводів та подушок безпеки.

По-друге, проблема теплового навантаження (Solar Load). Збільшена система дзеркал працює як лупа, фокусуючи сонячні промені безпосередньо на ніжну матрицю PGU. Для запобігання вигорянню екрана необхідно впроваджувати складні системи активного охолодження та використовувати спеціальні інфрачервоні фільтри.

По-третє, програмне забезпечення. Для уникнення ефекту «закачування» (motion sickness) у водія, цифрові AR-маркери повинні ідеально синхронізуватися з реальним світом. Це вимагає наднизької затримки (latency) відтворення графіки та потужних процесорів, здатних обробляти дані з усіх датчиків автомобіля у режимі реального часу з поправкою на крени кузова під час розгону та гальмування. Вирішення цієї проблеми сьогодні намагаються знайти шляхом машинного навчання [6, 7] та використання штучного інтелекту.

Висновки

Сучасні HUD-системи ефективно вирішують проблему когнітивного перевантаження та сліпих зон під час відволікання водія. Розвиток технологій доповненої реальності (AR HUD) та їхня глибока інтеграція з комплексами ADAS відкриває нову еру людино-машинного інтерфейсу (HMI). Завдяки цьому водій отримує можливість повністю контролювати дорожню ситуацію, маючи всю необхідну навігаційну та попереджувальну інформацію в прямому полі зору, що суттєво знижує аварійність і підвищує комфорт керування.

Література

1. Ніконов, О. Я., Полосухіна, Т. О. (2013). Роботизовані автомобілі: сучасні технології та перспективи розвитку. *Автомобіль і Електроніка. Сучасні технології*, **5**. С. 38–42.
2. Reif, C. (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics*. Springer Vieweg.
3. Zhou, C., Qiao, W., Hua, J., & Chen, L. (2024). Automotive Augmented Reality Head-Up Displays. *Micromachines*, **15**(4), 442. <https://doi.org/10.3390/mi15040442>
4. Власов, В. І. (2018). *Ергономіка транспортних засобів: навчальний посібник*. Київ: НТУ.
5. Charissis, V., Papanastasiou, S. (2010). Human-machine collaboration through vehicle head up display interface. *Cogn Tech Work* **12**, 41–50. <https://doi.org/10.1007/s10111-008-0117-0>
6. Franceschi L, Donini M, Perrone V, Klein A, Archambeau C, Seeger M, Pontil M, Frasconi P (2025). Hyperparameter optimization in machine learning. *Foundations and Trends in Machine Learning*, **18**(6). 975–1109, <https://doi.org/10.1561/22000000088>
7. Kedziora DJ, Musial K, Gabrys B (2024). AutonoML: Towards an Integrated Framework for Autonomous Machine Learning. *Foundations and Trends in Machine Learning*, **17**(4). 590–766. <https://doi.org/10.1561/22000000093>