УДК 338.47:629.33:621.397
JEL: L62; L91; L92; R40
DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-10-325-333

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УПРОВАДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В АВТОМОБІЛЯХ: МІЖ ІННОВАЦІЙНОЮ НЕОБХІДНІСТЮ ТА ЕКОНОМІЧНОЮ НАДМІРНІСТЮ

©2025 ВОЛІКОВ В. В., ПАНЧЕНКО І. В.

УДК 338.47:629.33:621.397
JEL: L62; L91; L92; R40

Воліков В. В., Панченко І. В. Економічна доцільність упровадження оптичних систем спостереження в автомобілях: між інноваційною необхідністю та економічною надмірністю

Метою статті є оцінка економічної доцільності впровадження оптичних систем спостереження на транспортних засобах шляхом оцінювання їхніх прямих і зовнішніх ефектів, визначення балансу між інноваційною необхідністю та економічною надмірністю. Методологічною основою дослідження соціально-економічної доцільності обладнання транспортних засобів оптичними системами спостереження є системний підхід, що поєднує інноваційний, економічний і соціальний аналіз. Метою застосованої методики є комплексне оцінювання витрат, вигоди та зовнішніх ефектів (вплив діяльності одного економічного суб'єкта на добробут інших). Дослідження передбачає три послідовні етапи: 1) аналітичний – систематизація теоретичних підходів та визначення ключових чинників впливу на ефективність впровадження оптичних систем; 2) емпіричний – побудова економіко-математичної моделі аналізу витрат і вигоди (прямі економічні ефекти та соціальні вигоди); 3) аналітично-прогностичний – сценарне моделювання (песимістичний, оптимістичний і базовий сценарії). Запропоновано для оцінки економічної доцільності обладнання транспортних засобів оптичними системами спостереження застосовувати комбінований підхід, який передбачає таке: 1) розрахунок NPV (Net Present Value); 2) розрахунок PP (Payback Period); 3) розрахунок PV (Present Value); 4) розрахунок ROI (Return on Investment); 5) розрахунок LCC (Life-Cycle Costing); 6) сенситивіті-аналіз (one-way) та сценарний аналіз; 7) метод Монте-Карло. Наведено результати апробації за моделлю розрахунку економічної доцільності обладнання оптичними системами спостереження на прикладі одного автомобіля. Розрахунок показників за трьома сценаріями (песимістичний, оптимістичний і базовий) обґрунтовує економічну доцільність упровадження цих технологій за умови врахування соціальної вигоди. Аналіз чутливості показав, що проєкт дуже чутливий до початкових витрат. На другому місці – річні валові виплати, на третьому – ставка дисконтування.

Ключові слова: *інновації, ADAS, оптичні системи спостереження, автомобільна промисловість, економічна ефективність, технологічні інвестиції, конкурентоспроможність, маркетинг інновацій.*
Табл.: *4.* ***Формул:*** *4.* ***Бібл.:*** *14.*

Воліков Володимир Володимирович *– кандидат економічних наук, провідний інженер Науково-технологічного комплексу «Інститут монокристалів» Національної академії наук України (просп. Науки, 60 , Харків, 61072, Україна)*
E-mail: *valdemar12@meta.ua*
ORCID: *https://orcid.org/0000-0002-4107-6277*
Панченко Ігор Валерійович *– керівник «Valera Logistics Inc.» (вул. Миколи Сингаївського, 2П, Ірпінь, 082200, Україна)*
E-mail: *cruze5823@gmail.com*
ORCID: *https://orcid.org/0009-0006-3449-9614*

UDC 338.47:629.33:621.397
JEL: L62; L91; L92; R40

Volikov V. V., Panchenko I. V. The Economic Feasibility of Implementing Optical Surveillance Systems in Vehicles: Between Innovative Necessity and Economic Excess

The aim of the article is to evaluate the economic feasibility of implementing optical surveillance systems in vehicles by assessing their direct and external effects and determining the balance between innovative necessity and economic excess. The methodological foundation of the study on the socioeconomic feasibility of equipping vehicles with optical surveillance systems is a system approach that integrates innovative, economic, and social analysis. The aim of the applied methodology is a comprehensive assessment of costs, benefits, and external effects (the impact of the activity of one economic entity on the welfare of others). The study involves three consecutive stages: 1) analytical – systematization of theoretical approaches and identification of key factors influencing the effectiveness of optical systems implementation; 2) empirical – development of an economic-mathematical model for cost-benefit analysis (direct economic effects and social benefits); 3) analytical-forecasting – scenario modeling (pessimistic, optimistic, and baseline scenarios). It is proposed to use a combined approach to assess the economic feasibility of equipping vehicles with optical monitoring systems, which includes: 1) calculation of NPV (Net Present Value); 2) calculation of PP (Payback Period); 3) calculation of PV (Present Value); 4) calculation of ROI (Return on Investment); 5) calculation of LCC (Life-Cycle Costing); 6) one-way sensitivity analysis and scenario analysis; 7) Monte Carlo method. The results of testing the model for calculating the economic feasibility of equipping vehicles with optical observation systems are presented using the example of a single car. The calculation of indicators under three scenarios (pessimistic, optimistic, and baseline) substantiates the economic feasibility of implementing these technologies, provided that social benefits are considered. Sensitivity analysis showed that the project is highly sensitive to initial costs, followed by annual gross payments and the discount rate.

Keywords: *innovation, ADAS, optical observation systems, automotive industry, economic efficiency, technological investments, competitiveness, innovation marketing.*
Tabl.: *4.* ***Formulae:*** *4.* ***Bibl.:*** *14.*

Volikov Volodymyr V. *– PhD (Economics), Leading Engineer of the State Scientific Institution "Institute for Single Crystals" of National Academy of Sciences of Ukraine (60 Nauky Ave., Kharkiv, 61072, Ukraine)*
E-mail: *valdemar12@meta.ua*
ORCID: *https://orcid.org/0000-0002-4107-6277*
Panchenko Ihor V. *– Chief of the "Valera Logistics Inc." (2P Mykoly Synhaivskoho Str., Irpin, 082200, Ukraine)*
E-mail: *cruze5823@gmail.com*
ORCID: *https://orcid.org/0009-0006-3449-9614*

У сучасних умовах цифрової трансформації автомобільна промисловість визначається інтеграцією цифрових систем, упровадженням систем штучного інтелекту, оптичних систем спостереження для забезпечення моніторингу дорожньої обстановки, розпізнавання перешкод, безпеки, що може передбачати автоматичне втручання в процес керування транспортним засобом (ТЗ). Сучасні технології напівавтоматичного керування автомобілем розглядаються як фундаментальна складова інтелектуальних транспортних систем і платформа для розвитку майбутнього автономного транспорту. Оптичні системи спостереження стають одним із ключових напрямів розвитку «розумних» автомобілів. Разом із тим упровадження таких систем супроводжується низкою економічних і соціальних дилем, що пов'язано зі значними фінансовими інвестиціями, з одного боку, але, з іншого – така технологія здатна зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП), зберегти життя та здоров'я людей, оптимізувати транспортні потоки та зменшити витрати суспільства від наслідків ДТП.

Усе це створює підґрунтя для дискусій про економічну надмірність інновацій у порівнянні з їхньою фактичною вигодою для суспільства. Аналіз інноваційного ефекту від застосування оптичних систем дозволяє визначити баланс між їхньою споживчою цінністю, технологічною необхідністю та економічною ефективністю.

Особливої актуальності питання раціонального впровадження таких технологій набуває в умовах обмеженості ресурсів, зокрема в Україні. Зважаючи на це, постає необхідність розроблення комплексного підходу до аналізу економічної доцільності інновацій у сфері транспортної безпеки, який поєднує методи фінансової оцінки, соціально-економічного аналізу та сценарного моделювання.

Питання економічної доцільності та ефекту безпеки від упровадження оптичних систем спостереження та систем допомоги водію ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) на автомобілях науковці та фахівці розглядають у двох взаємопов'язаних площинах: перша – це технікофункціональна ефективність застосування сенсорів/камер та їхній вплив на зниження аварійності; друга – це ринково-економічні наслідки (витрати, готовність покупця платити більше та очікувана окупність початкових інвестицій).

Оцінка ефективності застосування ADAS і перспектива її впровадження для підвищення безпеки дорожнього руху обумовлюють зростання інтересу з боку науковців і фахівців цієї галузі. Результати оглядових та емпіричних досліджень демонструють значний потенціал використання ADAS у зниженні кількості аварій та тяжкості наслідків [1]. Сьогодні спостерігається стрімке завоювання ринку окремими ADAS, наприклад проникнення таких функцій, як система автоматичного екстреного гальмування AEB (*Automatic Emergency Braking*) і FCW (*Forward Collision Warning*), зросло з кількох відсотків у 2015 р. до понад 90% у деяких моделях 2023 р. [2, p. 4–7].

Ринкові аналітики відзначають швидке збільшення сегмента автомобільних камер. Прогнозовано подвійне зростання його вартості у 2022–2027 рр. Така тенденція свідчить про зниження собівартості при серійному виробництва та, як наслідок, ціни продажу за одиницю обладнання [3]. Система активної безпеки AEB набуває все більшої популярності завдяки зменшенню кількості аварій, хоча її використання залишається нерентабельним навіть при оптимістичному сценарії. Вигода від застосування AEB, головним чином, визначається кількістю врятованих життів, зменшенням витрат на лікування та втрат продуктивності, запобігаючи зіткнень ззаду [4].

У 2021 р. у глобальному вимірі ДТП спричинило 1,19 мільйона смертей, накладаючи економічні витрати до 3% ВВП у багатьох країнах світу. Італійський покупець у 2024 р. витратив у середньому 1629 євро на функції ADAS, що надало загальну економію по країні протягом того ж року 1,89 млрд євро [5].

Удосконалені системи допомоги водієві змінюють взаємозв'язок між водіями, транспортними засобами та транспортною інфраструктурою. Спираючись на сучасні технології сприйняття для інтерпретації оточуючого середовища водієм, ADAS долає людські обмеження в часі реакції та трива-

лості уваги та забезпечує надійну роботу системи незалежно від сценаріїв [6, p. 3]. При цьому на ефективність використання ADAS для безпеки дорожнього руху впливає багато чинників [7].

Отже, на думку фахівців, упровадження безпілотних транспортних засобів допоможе усунути помилки водія-людини, які є основною причиною ДТП. Проте, незважаючи на потенційні переваги від упровадження цифрових технологій, у суспільстві зростає рівень стурбованості. Існує думка, що застосування безпілотних автомобілів негативно вплине на ринок праці та призведе до появи нових рівнів соціальної ізоляції [8]. Економічні та соціальні наслідки поширення автономних транспортних засобів матимуть вплив на різні сектори економіки та професії, що призведе до зміни загального уявлення про транспортну інфраструктуру [9].

Разом із тим, варто зазначити, що успішне впровадження цифрових технологій у різних галузях економіки має ґрунтуватися на активному застосуванні сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, що забезпечить швидку трансформацію ланцюгів постачання та розвиток інфраструктури. Проте в більшості випадків українські підприємства використовують Інтернет для пошуку інформації та розвитку бізнесу. Представлення самих підприємств у мережі Інтернет є досить низьким, що характеризується загальною кількістю повноцінних власних вебсайтів – 35,3% [10, с. 102]. Крім того, впровадження сучасних технологій потребує від підприємства наявності відповідного ресурсного забезпечення та адаптивності до змін зовнішнього середовища [11].

Незважаючи на значну кількість досліджень у сфері розробки та застосування систем допомоги водієві, нагальним залишається вирішення питання співвідношення «інноваційної необхідності» та «економічної надмірності». Тому актуальним залишається розробка комплексного підходу для економічної оцінки ефективності впровадження оптичних систем на транспортних засобах із урахуванням інноваційного ефекту (технологічна перевага, безпека, цінність бренду), економічних обмежень (вартість виробництва, готовність ринку, окупність інвестицій) та соціальної вигоди. Запропонований підхід може бути використано для стратегічного планування розвитку автомобільного парку та інших сегментів автомобільного ринку.

Метою статті є оцінка економічної доцільності впровадження оптичних систем спостереження на транспортних засобах шляхом оцінювання їхніх прямих і зовнішніх ефектів, визначення балансу між інноваційною необхідністю та економічною надмірністю.

Завданнями дослідження є: 1) аналіз еволюції та сучасних тенденцій розвитку ADAS у світовій автомобільній промисловості; 2) дослідження основних економічних вигод і витрат, пов'язаних з упровадженням оптичних систем у виробництво; 3) дослідження впливу технологічних інновацій на конкурентоспроможність автомобільних брендів; 4) дослідження готовності споживачів придбавати автомобілі з підвищеною вартістю через технологічну оснащеність оптичними системами; 5) запропонування простого підходу до оцінки економічної доцільності оснащення оптичними системами транспортних засобів.

Методологічною основою дослідження соціально-економічної доцільності обладнання транспортних засобів оптичними системами спостереження є системний підхід, що поєднує інноваційний, економічний і соціальний аналіз. Метою застосованої методики є комплексне оцінювання витрат, вигоди та зовнішніх ефектів (вплив діяльності одного економічного суб'єкта на добробут інших). Дослідження передбачає три послідовні етапи: 1) *аналітичний* – систематизація теоретичних підходів та визначення ключових чинників впливу на ефективність впровадження оптичних систем; 2) *емпіричний* – побудова економіко-математичної моделі аналізу витрат і вигоди (прямі економічні ефекти та соціальні вигоди); 3) *аналітично-прогностичний* – сценарне моделювання (песимістичний, оптимістичний і базовий сценарії).

Технології системи ADAS демонструють значний прогрес у своєму розвитку, що обумовлює їх класифікацію для аналізу впливу кожної комплектації на безпеку дорожнього руху. З огляду на рівень автоматизації застосовується така класифікація: рівень SAE 0 – без автоматизації водіння; рівень SAE 1 – допомога водієві; рівень SAE 2 – часткова автоматизація водіння; рівень SAE 3 – умовна автоматизація водіння; рівень SAE 4 – високий рівень автоматизації водіння; рівень SAE 5 – повна автоматизація водіння [5, p. 9–17].

Результати моделювання потенціалу різних систем ADAS для Австралії доводить їхню ефективність у попередженні та автоматичному гальмуванні, що приводить до зменшення кількості ДТП. Перехід автомобільної промисловості до концепції «розумного» автомобіля та автономного водіння зумовлює стрімкий розвиток технологій, спрямованих на упровадження оптичних систем спостереження та сенсорних технологій. Оптичні системи (камери, сенсори, алгоритми розпізнавання зображень тощо) виконують одну із провідних ролей у зниженні рівня аварійності, підвищення безпеки руху та створення нових цінностей. За результа-

тами досліджень, тільки в Австрії система ADAS, що пов'язана з гальмуванням, може «…привести до зменшення кількості аварій до 8700 і 70 смертельних випадків… Система інтелектуальної допомоги швидкості приведе до загального зниження кількості аварій на 8%...». Проте такі технології підвищують вартість автомобіля, тому їх економічна доцільність залишається предметом дискусій [1]. При цьому комерційна привабливість і стандартизація ключових функцій, котрі покладаються на оптичні сенсори для використання на транспортних засобах (ТЗ), згідно з результатами досліджень PARTS (*Partnership for Analytics Research in Traffic Safety*), зростає (*табл. 1*).

Наведені показники проникнення ADAS (див. табл. 1), хоча і представляють часткове уявлення про автомобільний ринок США з точки зору виробників та моделей, проте демонструють загальне зростання зацікавленості стосовно встановлення таких систем на вантажні та легкові транспортні засоби. Така динаміка свідчить про стандартизацію та зниження вартості компонентів, що робить більш логічним та економічно вигідним їх використання в широкому масштабі. Налагодження масового виробництва дозволяє більшій кількості людей і компаній використовувати ADAS. При цьому впровадження такої системи стає більш вигідним з фінансової точ-

Таблиця 1

Результати дослідження серед марок і моделей, що брали участь у дослідженнях PARTS

№ з/п	Система	Рік	Кількість ТЗ, од.	Кількість ТЗ із системами, од.	%, від загальної кількості ТЗ
1	Попередження про лобове зіткнення (Forward Collision Warning – FCW)	2015	11,636,941	1,484,901	12,8
		2023	7,127,816	6,702,321	94,0
2	Автоматичне екстрене гальмування (Automatic Emergency Braking – AEB)	2015	11,636,941	465,748	4,0
		2023	7,127,816	6,697,332	94,0
3	Попередження про виявлення пішоходів (Pedestrian Detection Warning – PDW)	2015	11,636,941	439,931	3,8
		2023	7,127,816	6,550,884	91,9
4	Виявлення пішоходів (Pedestrian AEB – PAEB)	2015	11,636,941	157,507	1,4
		2023	7,127,816	6,550,884	91,9
5	Екстрене гальмування на перехрестях (Intersection AEB – IAEB)	2015	11,636,941	0	0,0
		2023	7,127,816	2,439,754	34,2
6	Попередження про сліпі зони (Blind Spot Warning – BSW)	2015	11,636,941	2,917,685	25,1
		2023	7,127,816	5,223,019	73,3
7	Втручання у сліпі зони (Blind Spot Intervention – BSI)	2015	11,636,941	0	0,0
		2023	7,127,816	1,864,779	26,2
8	Попередження про виїзд зі смуги руху (Lane Departure Warning – LDW)	2015	11,636,941	1,469,663	12,6
		2023	7,127,816	6,595,743	92,5
9	Допомога утримування смуги руху (Lane Keeping Assistance – LKA)	2015	11,636,941	166,978	1,4
		2023	7,127,816	6,150,111	86,3
10	Допомога у центруванні смуги руху (Lane Centering Assistance – LCA)	2015	11,636,941	87,607	0,8
		2023	7,127,816	3,843,263	53,9
11	Адаптивний круїз-контроль (Adaptive Cruise Control – ACC)	2015	11,636,941	542,017	4,7
		2023	7,127,816	4,863,056	68,2
12	Активна допомога водієві (Active Driving Assistance – ADA)	2015	11,636,941	0	0,0
		2023	7,127,816	2,410,658	33,8
13	Корекція швидкості кривої (Curve Speed Correction – CSC)	2015	11,636,941	0	0,0
		2023	7,127,816	1,563,294	21,9
14	Автоматичне дальнє світло (Automatic High Beam – AHB)	2015	11,636,941	875,044	7,5
		2023	7,127,816	6,397,958	89,8

Джерело: складено авторами за [2, p. 4–11].

ки зору, що покращує економічну раціональність впровадження ADAS і сприяє зниженню вартості кінцевого продукту (ТЗ, обладнаний ADAS). Проте дослідники та фахівці звертають увагу на те, що масове впровадження таких технологій не знімає ризиків, пов'язаних з надійною роботою системи, правильною її інтеграцією в автомобільну електроніку та готовністю споживачів за це платити. У дослідженнях PARTS брали участь такі марки автомобілів: Ford, General Motors, Honda, Hyundai, Mazda, Mitsubishi, Stellantis, Subaru, Toyota [2, p. 12].

Згідно з результатами досліджень значна кількість ДТП є наслідком помилок водіїв. Сучасні системи допомоги водієві здатні попереджати водія про небезпеку та автоматично втручатись у процес управління ТЗ задля уникнення аварії. Проте застосування системи допомоги водію розглядається фахівцями як така, що тільки потенційно може допомогти уникнути зіткнень. Тому дослідницька група Фонду безпеки дорожнього руху AAA (*American Automobile Association*) для оцінки ймовірності того, що ADAS дозволить уникнути зіткнення, пропонує враховувати такі чинники: 1) базова ефективність технології для певного типу зіткнення; 2) зниження ефективності внаслідок впливу погодних умов, освітлення тощо; 3) ТЗ оснащений цією технологією, і вона була активована [7, p. 8–10].

Для оцінки ефективності та соціально-економічного впливу вдосконалених систем допомоги водієві автор [5, p. 82–84] пропонує застосовувати методологію, що складається з таких етапів: 1) при аналізі ефективності ADAS у зменшенні кількості аварій застосовувати підхід перехресного аналізу випадків; 2) для кількісної оцінки загального впливу ADAS, стосовно ефективності запобігання аваріям та пом'якшення тяжкості травм, застосовувати статистичні методи, наприклад, «… регресійні підходи: логістична регресія для моделювання ймовірності виникнення аварій; порядкова логістична регресія для оцінки ймовірності травм за різними рівнями тяжкості; та бета-регресія для вивчення того, як ефективність розвивається з проникненням ADAS на ринок»; 3) оцінку економії соціальних витрат проводити на основі результатів досліджень економічних наслідків впровадження ADAS шляхом аналізу співвідношення витрат і вигод у певній країні.

Фахівці з Таїланду провели аналіз витрат і вигод установлення автоматичної системи екстреного гальмування на автомобільному ринку Таїланду на прикладі AEB. Ця система ефективна для зменшення типу аварій, які відбуваються внаслідок зіткнення ззаду, при цьому, згідно зі статистикою Міністерства транспорту Таїланду, результати таких зіткнень: 17,6% – смертельні випадки, і ще 16,8% учасників травмовані. В застосованому підході передбачається, що AEB установлена в усіх нових ТЗ, починаючи з 2021 р. Відсоток врятованих життів завдяки AEB коливається від 25% до 50%. Ефективність встановлення можна простежити за трьома сценаріями: песимістичний – 25%, номінальний – 38%, оптимістичний – 50%. Вигоду від жертв ДТП визначено множенням кількості врятованих життів та травм на відповідні економічні витрати за трьома групами: смертельні випадки, серйозні травми та легкі травми. Інвестиційні витрати було визначено множенням кількості проданих транспортних засобів за відповідний термін на вартість одиниці системи AEB. Припущена вартість базової системи AEB з використанням окремих датчиків складає 180 фунтів стерлінгів у цінах 2021 р., яку було скориговано з урахуванням інфляції. Проведений розрахунок співвідношення вигоди та витрат доводить про економічну недоцільність застосування такої системи [4, p. 31].

На основі результатів проведених досліджень авторами цієї статті для оцінки економічної доцільності обладнання транспортних засобів оптичними системами спостереження пропонується застосовувати комбінований підхід, що передбачає такі етапи:

1. Розрахунок NPV (*Net Present Value*) – чистий приведений дохід.

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IC, \quad (1)$$

де NPV – чиста приведена вартість;
CF_t – чистий грошовий потік за період (t);
r – ставка дисконтування;
t – період (рік);
n – загальна кількість періодів;
IC – початкові інвестиційні витрати.

2. Розрахунок Payback Period (*PP*) – простий строк окупності.

$$PP = \frac{IC}{CF}, \quad (2)$$

де IC – початкові інвестиційні витрати;
CF – величина постійного щорічного чистого грошового потоку.

3. Розрахунок PV (*Present Value*) – приведена вартість.

$$PV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t}, \quad (3)$$

де PV – теперішня вартість потоку вигод;
B_t – чисті вигоди в році t.

4. Розрахунок ROI (*Return on Investment*) – проста рентабельність інвестицій.

$$ROI = \frac{CF_t}{IC} \cdot 100\%. \quad (4)$$

5. LCC (*Life-Cycle Costing*) – передбачає врахування витрат за весь життєвий цикл використання оптичної системи для порівняння з вигодами.

6. Сенситивіті-аналіз (*One-way*) та сценарний аналіз – зміна ключових параметрів для розрахунку строку окупності проєкту.

7. Метод Монте-Карло (опційно) – для повної ймовірнісної оцінки за нерівнозначних і невизначених параметрів.

При апробації моделі розрахунку економічної доцільності впровадження оптичних систем спостереження на один автомобіль (далі – Модель) використовувались усереднені дані, отримані з таких відкритих джерел [3; 12–15], це: прайс-листи та/або комерційні пропозиції виробників (вендорів) оптичних систем для автомобілів; середні витрати на ДТП; внутрішні облікові дані автопарків; результати маркетингових досліджень щодо визначення рівня готовності споживачів платити додаткову вартість за оптичні системи та інші аналітичні звіти ринку. Для спрощення апробації Моделі взято такий мінімальний набір вихідних даних.

1. *Початкові інвестиційні витрати (IC).* IC = ціна обладнання + монтаж обладнання + ліцензійне програмне забезпечення (ПЗ).

2. *Операційні витрати (ОВ).* ОВ = технічне обслуговування + гарантійний сервіс + оновлення ПЗ / підписки.

3. *Річні валові виплати (РВВ).* РВВ = зниження прямих витрат від ДТП (ремонт, страховка, простій тощо).

4. *Тривалість проєкту* – 5 років.

5. *Дисконтна ставка* (*r*) – 10%.

6. *Соціальна вигода:* зменшення витрат унаслідок ДТП.

Результати розрахунків за трьома сценаріями без урахування соціальної вигоди на один транспортний засіб наведено в *табл. 2.*

Результати (див. табл. 2) свідчать, що впровадження оптичних систем на транспортних засобах коштує дорого, і з економічної точки зору її застосування є недоцільним, що підтверджується невід'ємним NPV песимістичного та базового сценаріїв, відповідно (–1420,92) та (–443,47). Також тривалий строк окупності встановлення цих систем (при песимістичному сценарії – 18 років) приводить до того, що володарям ТЗ і покупцям нових автомобілів економічно не вигідно інвестувати в розвиток ADAS. Для підвищення привабливості таких проектів доцільно зменшувати початкові витрати через налагодження масового виробництва; зміщення фокусу на сегменти з вищими вигодами, наприклад флоти та преміальний клас; впроваджувати державні цільові програми підтримки розвитку цього напряму, зокрема в регуляторній політиці, наприклад, задля стимулювання інтеграції ADAS застосовувати страхові або податкові пільги. Таким чином, поєднання стратегій виробників, державного регулювання та страховиків може перевести проєкт із зони «економічної надмірності» у зону «інноваційної необхідності».

Результати розрахунків за трьома сценаріями з урахуванням соціальної вигоди на один транспортний засіб наведено в *табл. 3.*

За результатами розрахунків (див. табл. 3), строк простої окупності проєкту при песимістичному сценарії становить 11,8 року, що свідчить про довготривале повернення інвестицій. При оптимістичному сценарії показник не перевищує трьох років (2,83), а при базовому сценарії проєкт окупається практично за п'ять років (4,94), що підтверджує значну залежність економічної доцільності впровадження системи оптичного спостереження від початкових витрат.

Незважаючи на негативний показник NPV, з урахуванням соціальної вигоди для суспільства важливим залишається зовнішній ефект, який показує вплив діяльності одного економічного суб'єкта на добробут інших, що і є головним джерелом соціальної вигоди, а саме: зниження кількості ДТП; зменшення витрат системи охорони здоров'я

Таблиця 2

Сценарії без урахування соціальної вигоди на один транспортний засіб

Сценарій	IC, $	ОВ, $/рік	РВВ, $/рік	Bt, $/рік	NPV, $	PV, $	PP, років	ROI, %
Песимістичний	1800,00	80,00	180,00	100,00	–1420,92	379,08	18	–72,22
Оптимістичний	800,00	30,00	260,00	230,00	71,88	871,88	3,48	43,75
Базовий	1050,00	50,00	210,00	160,00	–443,47	606,53	6,56	–23,81

Джерело: розраховано авторами.

Таблиця 3

Сценарії з урахуванням соціальної вигоди на один транспортний засіб

Сценарій	IC, $	Bt, $/рік	Соціальна вигода, $/рік	Річна чиста вигода, $/рік	Соціальний NPV, $	PV, $	PP, років	ROI, %
Песимістичний	1800,00	100,00	52,51	152,51	–1221,87	578,13	11,80	–57,63
Оптимістичний	800,00	230,00	52,51	282,51	270,94	1070,94	2,83	76,57
Базовий	1050,00	160,00	52,51	212,51	–244,42	805,58	4,94	1,20

Джерело: розраховано авторами.

на лікування постраждалих у ДТП; зниження витрат держави на соціальні виплати, компенсації, страхові відшкодування; підвищення продуктивності праці через скорочення втрат робочого часу; зниження викидів CO_2; підвищення відчуття безпеки та зростання довіри споживачів до нових технологій, покращення іміджу виробника.

Аналіз чутливості впливу на NPV песимістичного сценарію (–1221,87$) було зроблено для ключових змін проєкту: початкові витрати, річні валові виплати, ставка дисконтування, термін реалізації проєкту, операційні витрати. Для наочності отримані результати впливу змін на NPV песимістичного сценарію наведено в *табл. 4*.

Таблиця 4

Результати аналізу чутливості

№ з/п	Змінна	%	NPV песимістичного сценарію (–1221,87), $	Новий NPV, $	Абсолютна зміна NPV, $
1	Початкові витрати	–10	–1221,87	–1041,87	–180,00
2	Річні валові виплати	+10	–1221,87	–1153,63	–68,24
3	Ставка дисконтування	+10	–1221,87	–1169,81	–52,06
4	Термін реалізації проекту	+10	–1221,87	–1178,82	–43,05
5	Операційні витрати	–10	–1221,87	–1191,54	–30,33

Джерело: розраховано авторами.

Згідно з отриманими результатами аналізу (див. табл. 4) проєкт дуже чутливий до початкових витрат, при зниженні яких на 10% абсолютна зміна складає $180,00. На другому місці – річні валові виплати, при збільшенні яких на 10% абсолютна зміна – $68,24, на третьому – ставка дисконтування, при збільшенні якої на 10% абсолютна зміна – $52,06.

Запропонована модель може бути застосована як для розрахунку на один транспортний засіб, так і в масштабах усього флоту.

ВИСНОВКИ

1. Систематизація наукових підходів до оцінювання інноваційних технологій у транспортній галузі доводить, що оптичні системи спостереження формують новий сегмент безпекових інновацій, орієнтованих не лише на підвищення комфорту водіння, але й на зниження громадських витрат, пов'язаних із дорожньо-транспортним травматизмом, тому в рамках концепції «Vision Zero» (нульова смертність) такі системи поступово змінюють свій статус з «інновації розкоші» до «інновації необхідності».

2. Економічне моделювання з використанням показників NPV, PV, PP і ROI за трьома сценаріями (песимістичним, оптимістичним і базовим) обґрунтовує таке: впровадження оптичних систем спостереження є економічно виправданим за умови врахування соціальної вигоди, що свідчить про потенційну привабливість технології для автомобільних виробників середнього сегмента.

3. Аналіз чутливості показав, що варіація ключових детермінант ефективності на ±10% впливає на NPV таким чином: проєкт дуже чутливий до початкових витрат, на другому місці – річні валові виплати, на третьому – ставка дисконтування.

4. Результати соціально-економічного аналізу підтвердили, що навіть у разі часткової комерційної невдачі проєкту соціальна вигода для суспільства виправдовує інвестиції з позиції національної транспортної політики.

5. Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що впровадження оптичних систем спо-

стереження має високий рівень економічної доцільності в середньостроковій перспективі, особливо при підтримці державних стимулів безпеки. Водночас для короткого терміну такі інвестиції можуть виглядати економічно надмірними для масового сегмента через високі витрати на компоненти та недостатню споживачу готовність. Таким чином, баланс між «інноваційною необхідністю» та «економічною надмірністю» має досягатися шляхом поступової комерціалізації технології та державної підтримки виробників.

Отримані наукові результати планується використати в подальших дослідженнях щодо економічної доцільності застосування штучного інтелекту в оптичних системах спостереження на транспортних засобах. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Aleksa M., Schaub A., Erdelean I. et al. Impact analya sis of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) regarding road safety – computing reduction potentials. *European Transport Research Review*. 2024. Vol. 16. Art. 39. DOI: https://doi.org/10.1186/s12544-024-00654-0
2. PARTS: Market Penetration of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). *MITRE Technical Report*. 2024. 15 p. URL: https://www.mitre.org/sites/default/files/2024-09/PR-24-2614-PARTS-Market-Penetration-Advanced-Driver-Assistance-Systems.pdf
3. Automotive Camera. Market Research Report – 2022 (rev. 2023). *ResearchGate ICV TAnK*. URL: https://icvtank.oss-ap-southeast-1.aliyuncs.com/INTELLIGENT%20DRIVING-REPORTS/2022%20Automotive%20Camera%20Market%20Research%20Report.pdf
4. Sitthiracha S., Koetniyom S. Cost-Benefit Analysis of Automatic Emergency Braking System Installation from Thailand Vehicle Market. *International Journal of Public Health and Health Sciences*. 2022. Vol. 4. No. 1. P. 26–36. URL: https://he01.tci-thaijo.org/index.php/ijphs/article/view/252350/173050
5. Cesaro M. Beyond ADAS adoption: assessing effectiveness and socio-economic impacts of the Advanced Driver Assistance Systems (Master thesis / 2024). *Politecnico di Milano*. 2024. URL: https://www.politesi.polimi.it/retrieve/5e9f9369-c910-41d6-bb71-b4a9f1610371/2025_04_Cesaro_Tesi.pdf
6. Cheni V. K. The Evolution and Impact of Advanced Driver-Assistance Systems. *International Journal of Science and Technology*. 2025. Vol. 16. Iss. 1. P. 1–15. URL: https://www.ijsat.org/papers/2025/1/2915.pdf
7. Caldwell S., Harper C., Hendrickson Ch., Samaras C. Driver Warning Technologies and Partial Vehicle Automation. Save Lives and Money. *Traffic21 Policy Brief*. 2021. 24 p. URL: https://www.cmu.edu/traffic21/pdfs/2021---traffic21_policymaker_guide---driver-warning-technologies-and-partial-vehicle-automation.pdf
8. Nikitas A., Vitel A.-E., Cotet C. Autonomous vehicles and employment: An urban futures revolution or catastrophe? *Cities*. 2021. Vol. 114. Art. 103203. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103203
9. Gherardini L., Cabri G. The Impact of Autonomous Vehicles on Safety, Economy, Society and Environment. *World Electric Vehicle Journal*. 2024. Vol. 15. Iss. 12. Art. 579. DOI: https://doi.org/10.3390/wevj15120579
10. Якушко І. В. Сучасні тенденції цифровізації націоа нальної економіки України. *Бізнес Інформ*. 2022. № 12. С. 99–105. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-12-99-105
11. Хахалєв Д. О. Оцінка забезпеченості сталого розвитку підприємства. *Бізнес Інформ*. 2024. № 5. С. 338–344. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-338-344
12. ADAS Market Trends (summary). *MarketGrowthReports*. URL: https://www.marketgrowthreports.com/market-reports/adas-market-103945
13. Cost of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) Repairs (2023 report). *AAA*. URL: https://newsroom.aaa.com/wp-content/uploads/2023/11/Report_Cost-of-ADAS-Repairs-FINAL-23.pdf
14. MITRE – PARTS dataset / AEB effectiveness (2025 news). URL: https://www.mitre.org/news-insights/news-release/parts-announces-new-data
15. Traffic Crashes Cost America $340 Billion in 2019. *NHTSA*. 10.01.2023. URL: https://www.nhtsa.gov/press-releases/traffic-crashes-cost-america-billions-2019

REFERENCES

AAA. (2023). *Cost of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) repairs* (2023 report). https://newsroom.aaa.com/w p-content/uploads/2023/11/Report_Cost-of-ADAS-Repairs-FINAL-23.pdf

Aleksa, M., Schaub, A., Erdelean, I., et al. (2024). Impact analysis of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) regarding road safety – computing reduction potentials. *European Transport Research Review, 16*, Art. 39. https://doi.org/10.1186/s12544-024-00654-0

Caldwell, S., Harper, C., Hendrickson, Ch., & Samaras, C. (2021). *Driver warning technologies and partial vehicle automation. Save lives and money*. Carnegie Mellon University. https://www.cmu.edu/traffic21/pdfs/2021---traffic21_policymaker_guide---driver-warning-technologies-and-partial-vehicle-automation.pdf

Cesaro, M. (2024). *Beyond ADAS adoption: Assessing effectiveness and socio-economic impacts of the Advanced Driver Assistance Systems* [Master's thesis, Politecnico di Milano]. https://www.politesi.polimi.it/retrieve/5e9f9369-c910-41d6-bb71-b4a9f1610371/2025_04_Cesaro_Tesi.pdf

Cheni, V. K. (2025). The Evolution and Impact of Advanced Driver-Assistance Systems. *International Journal of Science and Technology, 16*(1), 1–15. https://www.ijsat.org/papers/2025/1/2915.pdf

Gherardini, L., & Cabri, G. (2024). The Impact of Autonomous Vehicles on Safety, Economy, Society and Environment. *World Electric Vehicle Journal, 15*(12), Article 579. https://doi.org/10.3390/wevj15120579

Khakhaliev, D. O. (2024). Otsinka zabezpechenosti staloho rozvytku pidpryiemstva [Assessment of sustainable enterprise development provision]. *Biznes Inform, (5),* 338–344. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-338-344

MITRE. (2024). *PARTS: Market penetration of advanced driver assistance systems (ADAS)*. https://www.mitre.org/sites/default/files/2024-09/PR-24-2614-PARTS-Market-Penetration-Advanced-Driver-Assistance-Systems.pdf

MITRE. (2025). *PARTS dataset / AEB effectiveness* (2025 news). https://www.mitre.org/news-insights/news-release/parts-announces-new-data

MarketGrowthReports. (n. d.). *ADAS market trends (summary)*. https://www.marketgrowthreports.com/market-reports/adas-market-103945

NHTSA. (2023, January 10). *Traffic crashes cost America $340 billion in 2019*. https://www.nhtsa.gov/press-releases/traffic-crashes-cost-america-billions-2019

Nikitas, A., Vitel, A.-E., & Cotet, C. (2021). Autonomous vehicles and employment: An urban futures revolution or catastrophe?. *Cities, 114*, Art. 103203. https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103203

ResearchGate ICV TAnK. (2022). *Automotive camera. Market research report – 2022* (rev. 2023). https://icvtank.oss-ap-southeast-1.aliyuncs.com/INTELLIGENT%20DRIVING-REPORTS/2022%20Automotive%20Camera%20Market%20Research%20Report.pdf

Sitthiracha, S., & Koetniyom, S. (2022). Cost-Benefit Analysis of Automatic Emergency Braking System Installation from Thailand Vehicle Market. *International Journal of Public Health and Health Sciences, 4*(1), 26–36. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/ijphs/article/view/252350/173050

Yakushko, I. V. (2022). Suchasni tendentsii tsyfrovizatsii natsionalnoi ekonomiky Ukrainy [Modern trends in the digitalization of the national economy of Ukraine]. *Biznes Inform, (12)*, 99–105. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-12-99-105