

С.А. Федосов<sup>1</sup>, О.В. Замуруєва<sup>2</sup>, Л.І. Никируй<sup>3</sup>, В.С. Федосов<sup>2</sup>, А.В. Трофімчук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет

<sup>2</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки

<sup>3</sup>Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

У статті проаналізовано публікації авторитетних світових науковців пов'язані з інноваційними технологіями для автомобільного транспорту. Це створює розуміння формування підтримки та розвитку цього напрямку у світі і в Україні, визначення перспектив нових досліджень. Окреслено коло провідних публікацій у науковій галузі, проаналізовано фактори впливу вчених різних країн на розвиток цієї галузі, розглянуто особливості міжнародної співпраці. Сформульовано деякі пропозиції для поширення результатів українських вчених у світовій науковій спільноті за цим напрямком.

**Ключові слова:** технології, автотранспорт, наукові дослідження, публікації, галузі знань.

S. Fedosov, O. Zamurujeva, L. Nykyruy, V. Fedosov, A. Trofymchuk

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN MOTOR VEHICLES

The article analyzes the publications of reputable world scientists related to innovative technologies for motor vehicles. This creates an understanding of the formation of support and development of this direction in the world and in Ukraine, and determining the prospects for new research. The range of leading publications in the scientific field is outlined, the factors of influence of scientists of different countries on the development of this field are analyzed, and the peculiarities of international cooperation are considered. Some proposals have been formulated for the distribution of the results of Ukrainian scientists in the world scientific community in this direction.

**Keywords:** technologies, motor vehicles, scientific research, publications, subject areas.

**Постановка проблеми.** Розвиток технологій безпосередньо пов'язаний із станом та розвитком науки, а саме актуальністю проблем, зацікавленістю науковців до їх вирішення і наявність матеріально-технічної бази для реалізації досліджень. Відображенням результатів цих досліджень є наукові публікації у провідних світових фахових виданнях. Саме такі публікації і формують розвиток даного напрямку чи проблем у певній галузі. Такі тенденції є справедливими для різних виробничих сфер. Не винятком є прикладні дослідження у галузі автомобільного транспорту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наукометричній базі Scopus на жовтень 2023 року відображено понад 12 тис. наукових публікацій пов'язаних з технологіями в автомобільному транспорті (англ. *Technologies in motor vehicles*). Їх щорічна кількість (рис. 1) суттєво залежить від впровадження у виробництво інноваційних результатів наукових досліджень. Швидше за все кількісне зростання публікацій у період 1965-2000 рр., пов'язане з стрімким розвитком напівпровідникової електроніки, а значне збільшення у 2000-их рр. із впровадженням цифрових технологій і широким використанням компонентів на їх основі у різних електронних системах автомобілів [1].

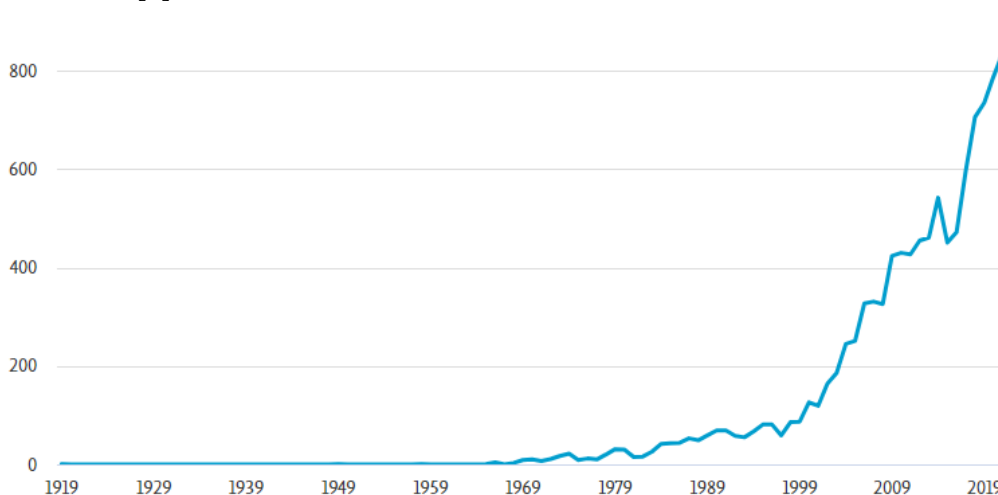


Рис. 1. Публікації за роками

Вирішенням проблем і впровадженням нових технологій у галузі автомобільного транспорту займається велика кількість світових науковців. Актуальність і популярність таких досліджень підтверджено великою кількістю і високою цитованістю публікацій у наукометричній базі даних Scopus. А незначна кількість статей українських вчених є ознакою необхідної популяризації і розвитку цього наукового напрямку в українських наукових центрах.

**Постановка завдань.** В роботі поставлено мету – виконати аналіз досліджень, які стосуються сучасних технологій в автомобільному транспорті, зокрема з використанням напівпровідникових матеріалів, зробити спробу визначити особливості реалізації даної тематики у світі для пошуку шляхів ефективного розвитку цього необхідного напрямку в Україні.

**Викладення основного матеріалу.** Більше половини з усіх публікацій припадає на країни у яких на високому рівні розвинена автомобільна промисловість і, які є однозначними лідерами по впровадженню інноваційних технологій в автомобільні вузли та системи. Серед передових країн (рис. 2): США, Китай, Індія, Великобританія тощо. Тоді як внесок українських науковців становить усього 30 публікацій.

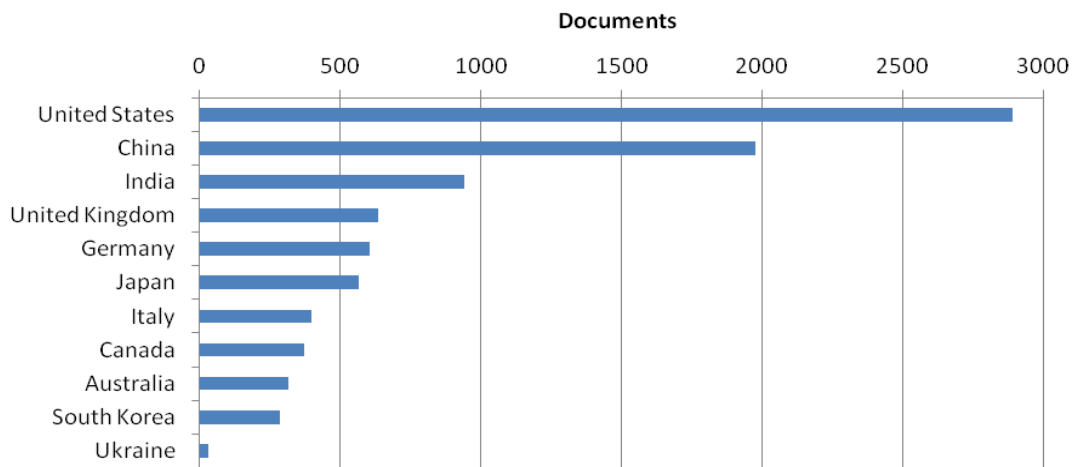


Рис. 2. Діаграма країн із найбільшою кількістю публікацій та України

Велика кількість публікацій фахівців передових країн зумовлена наявними високим науковим потенціалом і сучасною матеріально-технічною базою, які зосереджені у відомих науково-виробничих центрах (табл. 1, стовпець 1).

Табл. 1.

#### Передові організації світових досліджень

Науково-виробничі центри	Організації, що фінансують дослідження
<i>Tsinghua University, China</i>	<i>National Natural Science Foundation of China</i>
<i>General Motors, US</i>	<i>National Science Foundation</i>
<i>Beijing Institute of Technology, China</i>	<i>National Key Research and Development Program of China</i>
<i>Ford Motor Company, US</i>	<i>Horizon 2020 Framework Programme</i>
<i>Jilin University, China</i>	<i>European Commission</i>
<i>Tongji University, China</i>	<i>U.S. Department of Energy</i>
<i>Chinese Academy of Sciences, China</i>	<i>Fundamental Research Funds for the Central Universities</i>
<i>Toyota Motor Corporation, Japan</i>	<i>Engineering and Physical Sciences Research Council</i>
<i>Ministry of Education of the People's Republic of China, China</i>	<i>National Research Foundation of Korea</i>
<i>Massachusetts Institute of Technology, US</i>	<i>Seventh Framework Programme</i>

Необхідним фактором для проведення досліджень є їх фінансова підтримка. Основними світовими організаціями, що фінансують дослідження в даній галузі – здебільшого організації з Китаю, США і країн ЄС (табл. 1, стовпець 2): *National Natural Science Foundation of China, National Science Foundation, Horizon 2020 Framework Programme, U.S. Department of Energy* тощо. Тому для успішної реалізації досліджень українським науковцям слід шукати шляхи для їх фінансової

підтримки саме серед цих потужних організацій. Як один із варіантів для українських вчених – виконання своїх досліджень в закордонних центрах, які вже мають таку підтримку.

У [2], яка цитувалася 3 113, показано, що батареї, які отримують високу густину енергії за рахунок зберігання заряду в об'ємі матеріалу, також можуть досягати надвисокої швидкості розряду, порівнянної з показниками суперконденсаторів. Автори реалізували це в  $\text{LiFePO}_4$ , матеріалі з високою об'ємною рухливістю літію, шляхом створення швидкої іонопровідної поверхневої фази через контрольовану відхилення від стехіометрії. Можливе досягнення швидкості, еквівалентної повному розряду акумулятора за 10-20 с.

Короткий огляд поточних тенденцій і майбутніх стратегій транспортних засобів, а також функції силових електронних підсистем розглянуто в [3] (1 145 цитувань). Також наведено вимоги до компонентів силової електроніки та електроприводів для успішного розвитку таких автомобілів.

У широкомасштабній книзі [4] (1 008 цитувань) автори спираються на свій значний досвід, щоб представити як вступ до матеріалів, пристроїв і застосувань SiC, так і детальну довідку для вчених та інженерів, які працюють у цій швидкозмінній галузі. Основи технології карбіду кремнію охоплюють основні властивості матеріалів SiC, технологію обробки, теорію та аналіз практичних пристроїв, а також огляд найважливіших застосувань систем.

У документі [5] (980 цитувань) викладено ключові характеристики автодорожньої автоматизованої системи IVHS (Intelligent Vehicle/Highway System), показано, як покращуються основні рішення водія, запропоновано базову архітектуру системи керування IVHS та запропоновано дизайн деяких підсистем керування. Автор також підсумовує деякі експериментальні роботи та сподівається, що стаття стимулюватиме інтерес до IVHS серед інженерів з управління.

Саме поява і розвиток напівпровідникового матеріалознавства призвело до суттєвого прогресу та інновацій у електронних системах автомобільного транспорту [6]. Починаючи з 1959 р. розпочато широке впровадження наукових результатів в області напівпровідникової електроніки і їх використання стрімко зростає щороку. Найбільш актуальні і вагомні результати цих доробок відображено в понад як 1 200 працях (1959-2024 рр.) у найцитованіших роботах наукометричної бази даних Scopus.

У такому розвиненому бізнесі, як ринок ламп, нові функції ламп, такі як зменшення споживання ртуті, можуть призвести до конкурентної переваги і нових програм досліджень люмінофору. Нові багатообіцяючі розробки, такі як електролюмінесцентні повноколірні дисплеї або синій (лазерний) діод, викликали потреби та численні дослідницькі зусилля в лабораторіях по всьому світу. Пряме перетворення електроенергії на світло кидає виклик поточним концепціям і може врешті змінити спосіб освітлення приміщень, фар автомобілів чи світлофорів, а також спосіб відображення відеоінформації. Глибоке розуміння взаємодії світла та матерії разом із передовою хімією матеріалів є ключем до покращених і нових продуктів освітлення та дисплеїв [7] (1 174 цитувань).

Розвиток методів обробки сигналів разом із прогресом у технології напівпровідників міліметрового діапазону (mm-wave) відіграє ключову роль в автомобільних радарних системах. Розроблено різні методи обробки сигналів, щоб забезпечити кращу роздільну здатність і продуктивність оцінки в усіх параметрах вимірювання: дальності, кутах азимута місця та швидкості цілей, що оточують транспортні засоби. У статті [8] (597 цитувань) узагальнено різні аспекти техніки обробки сигналів автомобільних радарів, включаючи дизайн сигналу, можливі архітектури радарів, алгоритми оцінки, компроміс між складністю і роздільною здатністю реалізації та адаптивну обробку для складних середовищ, а також унікальні проблеми, пов'язані з автомобільними радарними, наприклад виявлення пішоходів.

Окрім графену все більше уваги дослідників зараз звертається до «інших 2D-матеріалів», таких як  $\text{MoS}_2$ , і  $\text{NbSe}_2$ . Більшість досліджень цих матеріалів зосереджено на їх трибологічному застосуванні:  $\text{MoS}_2$  найбільш відомий сьогодні як вискоєфективне сухе мастило для застосувань у надвисокому вакуумі та в автомобільних двигунах. У звіті [9] (390 цитувань) авторами описано останні досягнення в галузі одношарових пристроїв на основі  $\text{MoS}_2$  і пов'язаних із ним напівпровідників TMD (Transition Metal Dichalcogenide), які можуть мати електричні властивості на тому ж рівні, що й інші, більш відомі напівпровідникові матеріали. Це дозволило швидко просунути в цій галузі та супроводжувалося демонстраціями основних цифрових схем і транзисторів, що працюють у технологічно релевантному гігагерцевому діапазоні частот, показуючи, що рухливість матеріалів  $\text{MoS}_2$  і TMD є достатньо високою, щоб забезпечити роботу

пристрою на таких високих частотах. Усі результати [9] показують, що MoS<sub>2</sub> і TMD є перспективними матеріалами для електронних та оптоелектронних застосувань.

Напівгетслери були б важливими термоелектричними матеріалами через їх високу температурну стабільність і велику кількість, якби їхню безрозмірну термоелектричну добротність (ZT) можна було зробити досить високою. За допомогою нанокompозитного підходу з використанням кульового млину та гарячого пресування авторами [10] (357 цитувань) досягнуто піку ZT 0,8 при 700 °С, що приблизно на 60 % вище, ніж найкраще зареєстроване значення 0,5, і може бути достатньо для розгляду при рекуперації відпрацьованого тепла у вихлопних системах автомобіля. Поліпшення відбувається за рахунок одночасного збільшення коефіцієнта Зеєбека і значного зниження теплопровідності завдяки наноструктурам. Подальше покращення ZT очікується, коли середні розміри зерен будуть меншими за 100 нм.

Для вирішення проблем безпеки в системах автономного водіння нещодавно розроблено набір методів тестування для автоматичної генерації штучних сцен водіння, щоб збагатити набір тестів, наприклад, генерувати нові вхідні зображення, перетворені з вихідних. Однак цих методів недостатньо через два обмеження: по-перше, багатьом таким синтетичним зображенням часто бракує різноманітності сцен водіння, і, отже, це ставить під загрозу результативність і надійність. По-друге, для систем, заснованих на машинному навчанні, невідповідність між навчанням і областю застосування може різко погіршити точність системи, так що необхідно перевіряти вхідні дані для підвищення надійності системи. Авторами [11] (338 цитувань) впроваджено DeepRoad, щоб протестувати три добре відомі системи автономного водіння на основі DNN (Deep Neural Networks) у змаганні з безпілотними автомобілями Udacity. Експериментальні результати демонструють, що DeepRoad може виявляти тисячі неузгоджених дій цих систем і ефективно перевіряти вхідні зображення, щоб також потенційно підвищити надійність системи.

Найвагоміші результати досліджень світових науковців опубліковано у авторитетних виданнях (табл. 2). Найбільшу кількість опубліковано у журналах (табл. 2, стовпець 1): *SAE Technical Papers*, *Environmental Science and Technology Letters*, *Applied Mechanics and Materials*, *Transportation Research Record* тощо. Найбільш цитовані ж статті опубліковані у топових Q1 (з високим SJR) журналах (табл. 2, стовпець 2): *Nature*, *Angewandte Chemie - International Edition*, *Accounts of Chemical Research* тощо. Окрім публікацій виданих у журналах, велика їх кількість опублікована у матеріалах конференцій, таких як: *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *IEEE Signal Processing Magazine*, *ASE 2018 : Proceedings of the 33rd ACM/IEEE International Conference on Automated Software Engineering*, що вказує на важливість участі науковців у таких заходах, зокрема представлення на них своїх наукових результатів.

Табл. 2.

Характеристика джерела публікацій світових досліджень	
Найпоширеніші, країна (SJR)	Найцитованіші, країна (SJR)
<i>SAE Technical Papers</i> , US (0,24)	<i>Nature</i> , UK (Q1 20,96)
<i>Environmental Science and Technology Letters</i> , US (Q1 2,91)	<i>IEEE Transactions on Industrial Electronics</i> , US (Q1 3,19)
<i>Applied Mechanics and Materials</i> , Germany	<i>Angewandte Chemie - International Edition</i> , UK (Q1 5,57)
<i>Transportation Research Record</i> , US (Q2 0,62)	<i>IEEE Signal Processing Magazine</i> , US (Q1 3,94)
<i>Advanced Materials Research</i> , Germany	<i>Accounts of Chemical Research</i> , US (Q1 6,38)
<i>VDI-Berichte</i> , Germany (Q4 0,14)	<i>Nano Letters</i> , US (Q1 3,54)
<i>Accident Analysis and Prevention</i> , UK (Q1 1,96)	<i>ASE 2018 : Proceedings of the 33rd ACM/IEEE International Conference on Automated Software Engineering</i> , US
<i>Automotive Industries AI</i> , US (Q4 0,1)	
<i>Lecture Notes in Electrical Engineering</i> , Germany (Q4 0,15)	
<i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (0,18)	

Важливим аспектом сучасних досліджень є формування наукових колективів із підбором і залученням фахівців з різних галузей знань. Тому цікавими і важливими є результати аналізу за галуззю знань, з якою позиціонуються публікації. Для світових публікацій пов'язаних з

технологіями в автомобільному транспорті переважаючими є галузі: «Інженерія», «Комп'ютерні науки», «Екологія», «Енергія», «Соціальні науки» (рис. 3) і майже 28 % на інші галузі.

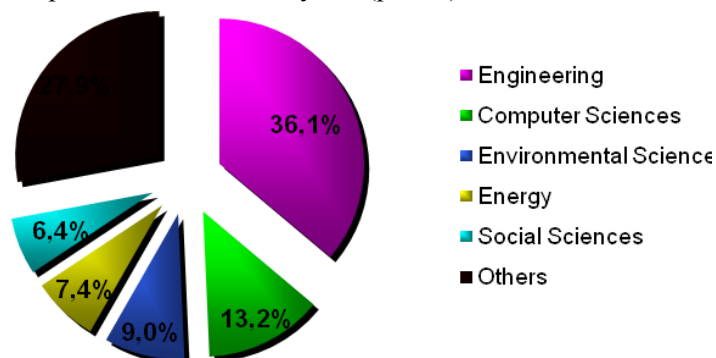


Рис. 3. Переважаючі галузі знань публікацій

Загалом, більше третини усіх публікацій в напрямку розвитку технологій в автомобільному транспорті (Technologies in motor vehicles) є результатом плідної роботи науковців усього світу у галузі інженерії. Однак, чималу зацікавленість до розв'язання проблем у цьому напрямі відображено у статтях провідними фахівцями і інших галузей, зокрема, комп'ютерних наук, екології, енергії, а також суспільних наук. Це є результатом комплексного і міжгалузевого підходу до розв'язування глобальних проблем, пов'язаних з технологіями і перспективами розвитку автомобільного транспорту.

**Висновки.** Проведений аналіз дає можливість зрозуміти, які сучасні виклики стоять перед науковцями і які можливі шляхи їх подолання. Однозначно, дана тематика є актуальною і потребує подальших комплексних наукових досліджень, як у фундаментальному так і прикладному аспектах. Наведена інформація і деякі надані пропозиції будуть корисним для українських фахівців для більш ефективного спрямування своєї науково-технічної діяльності і шляхів популяризації та розвитку цього напрямку, а також розв'язання дослідницьких проблем на рівні світових.

#### Список використаних джерел:

1. Трофімчук А., Федосов С. Передові інноваційні технології в автомобільному транспорті. *Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії* : III студ. наук.-техн. конф., 16 лист. 2023 р., м. Луцьк, Україна : тези доп. Луцьк : ЛНТУ, 2023. С. 73–76.
2. Kang B., Ceder G. Battery materials for ultrafast charging and discharging. *Nature*. 2009. Vol. 458, № 7235. P. 190–193.
3. Emadi A., Lee Y.J., Rajashekara K. Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2008. Vol. 55, № 6. P. 2237–2245.
4. Kimoto T., Cooper J.A. *Fundamentals of Silicon Carbide Technology: Growth, Characterization, Devices and Applications* (book). John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2014. 538 p.
5. Varaiya P. Smart Cars on Smart Roads: Problems of Control. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 1993. Vol. 38, № 2. P. 195–207.
6. Федосов В., Трофімчук А., Замуруєва О. Напівпровідникові матеріали в автомобілях. *Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії* : III студ. наук.-техн. конф., 16 лист. 2023 р., м. Луцьк, Україна : тези доп. Луцьк : ЛНТУ, 2023. С. 71–73.
7. Jüstel T., Nikol H., Ronda C. New developments in the field of luminescent materials for lighting and displays. *Angewandte Chemie - International Edition*. 1998. Vol. 37, № 22. P. 3084–3103.
8. Patole S.M., Torlak M., Wang D., Ali M. Automotive Radars: A review of signal processing techniques. *IEEE Signal Processing Magazine*. 2017. Vol. 34, № 2. P. 22–35, 7870764.
9. Lembke D., Bertolazzi S., Kis A. Single-layer MoS<sub>2</sub> electronics. *Accounts of Chemical Research*. 2015. Vol. 48, № 1. P. 100–110.
10. Yan X., Joshi G., Liu W., et al. Enhanced thermoelectric figure of merit of p-type half-heuslers. *Nano Letters*. 2011. Vol. 11, № 2. P. 556–560.
11. Zhang M., Zhang Y., Zhang L., Liu C., Khurshid S. Deeproad: GaN-based metamorphic testing and input validation framework for autonomous driving systems. *33rd ACM/IEEE International Conference on Automated Software Engineering (ASE 2018)* : Proceedings. 2018. P. 132–142.